La digitalización de las empresas

Características de la empresa inteligente

PID_00259098

Julián Horrillo Tello

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 2 horas

Universitat Oberta de Catalunya

Julián Horrillo Tello

Doctor en Societat de la Informació i el Coneixement (Ciència Política i de l'Administració) per la Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Màster en Societat de la informació i el coneixement per la Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Enginyer industrial (Organització Industrial) per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Enginyer tècnic industrial (especialitat Elèctrica, Intensificació Electrònica Industrial) per la Universitat Politècnica de Catalunya. Professor de les assignatures Organització de la producció, Gestió de projectes, Informàtica industrial i Organització de l'empresa en la indústria 4.0 a l'Escola Superior Politècnica TecnoCampus (ESUPT). És investigador del Grup GRESIT (Energies alternatives i renovables, sostenibilitat, eficiència energètica i innovació tecnològica industrial) de l'ESUP Tecnocampus.

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

1. La *smart factory* en la Industria 4.0 5

2. Transformación digital y *smart factory* 9
2.1. El modelo de gestión de la empresa 9
2.2. Tecnologías para la transformación digital 11

3. Plan de actuación. El camino hacia la fábrica inteligente 14
3.1. Modelo de negocio 14
3.2. Integración de la cadena de valor 15
3.3. Producto 15
3.4. Capital humano 16
3.5. Innovación 16
3.6. Sostenibilidad 16
3.7. Tecnología 17

Bibliografía 19

1. La *smart factory* en la Industria 4.0

La progresiva implantación de las tecnologías digitales en el conjunto de la actividad económica ha proporcionado nuevos factores productivos para el sector industrial. En la nueva economía global del conocimiento, con mercados cada vez más volátiles y consumidores que demandan productos personalizados, rápidos de obtener y con mayor valor añadido, se exigen nuevas formas de producción, con estrategias de operaciones basadas en la gestión del conocimiento y la innovación continuada, y que crean valor a través de la información y el uso intensivo de los avances tecnológicos. Las TIC[1] mejoran la eficiencia de gestión de los elementos de valor de la empresa, la flexibilidad del sistema de producción y propician nuevos modelos de negocio y nuevas estructuras organizativas. Pero las nuevas tecnologías también afectan al diseño del producto con una clara orientación a la reducción del *time-to-market*, la generación de valor para el cliente y la gestión del proceso de innovación empresarial.[2] La Industria 4.0 describe un modelo industrial en el que los procesos de producción incorporan masivamente tecnologías TIC que permiten la comunicación entre todos los elementos del proceso, de forma autónoma a lo largo de la cadena de valor, más allá de los límites de las empresas individuales. Esta incorporación de las TIC a la función de producción implica la digitalización del sistema de fabricación, de tal manera que las interacciones entre sus componentes tienen lugar a través de Internet. La transformación digital del sistema de producción implica que elementos, componentes y sistemas quedan habilitados para comunicarse entre ellos, creando una industria inteligente, con una producción descentralizada y flexible, capaz de adaptarse a los cambios de la demanda en tiempo real.

(1)TIC: tecnologías de la información y la comunicación.

(2)La importancia del nuevo paradigma industrial ha propiciado la puesta en marcha de diferentes iniciativas, tanto a nivel de la UE como de los países miembros (https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/cordination-european-national-regional-initiatives). Entre estas iniciativas cabe destacar la de Industria Conectada 4.0 del Ministerio de Industria, Energía y Turismo español (http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/index.aspx#inicio), que pretende abordar una profunda transformación de la industria española desde la triple óptica del producto, el proceso y los modelos de negocio.

Según el DFKI[3] (2011), pueden identificarse cuatro etapas de la revolución industrial: la primera revolución, iniciada sobre el 1870, caracterizada por la introducción de equipos de producción mecánicos impulsados por vapor o por agua; la segunda revolución, alrededor de 1900, relacionada con la introducción de la producción en masa, basada en la división del trabajo e impulsada por la energía eléctrica; la tercera revolución, a partir de 1970, con la introducción de la electrónica y las tecnologías de la información (TIC), que permiten la automatización de la producción; y finalmente, la actual cuarta revolución industrial, basada en la producción con sistemas ciberfísicos. Esta cuarta revolución genera nuevas oportunidades de negocio, con nuevos modelos basados

(3)DFKI: Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz.

en la combinación de productos y servicios, que obligan a repensar la organización, con nuevas estructuras, nuevos requerimientos de capital humano y una redefinición de sus procesos de negocio.

Aunque no existe una definición generalmente aceptada de lo que es la Industria 4.0, incluimos a continuación algunas definiciones relevantes, como la de Kagermann *et al.* (2013), que la definen como:

> "The technical integration of CPS into manufacturing and logistics and the use of the Internet of Things and Services in industrial processes. This will have implications for value creation, business models, downstream services and work organization".

Por su parte, Hermann *et al.* (2015) proponen la siguiente definición:

> "Industrie 4.0 is a collective term for technologies and concepts of value chain organization. Within the modular structured Smart Factories of Industrie 4.0, CPS monitor physical processes, create a virtual copy of the physical world and make decentralized decisions. Over the IoT, CPS communicate and cooperate with each other and humans in real time. Via the IoS, both internal and cross- organizational services are offered and utilized by participants of the value chain."

Por tanto, la tecnología es un elemento central en la nueva revolución industrial que hace posibles modelos de fabricación inteligente y de alto valor, que necesitan alta conectividad y que gestionan grandes volúmenes de información. Según Wallace y Riddick (2013) puede definirse la fabricación inteligente como

> "a data intensive application of information technology at the shop floor level and above to enable intelligent, efficient and responsive operations."

La hoja de ruta tecnológica de la fábrica inteligente debe combinar, entre otros: sistemas ciberfísicos (CPS), el Internet de las cosas (IdC), comunicaciones seguras, *cloud computing* y soluciones de *big data*.[4] Estas tecnologías facilitan la digitalización y la integración de la cadena de valor, la aparición de nuevos modelos de negocio y la digitalización de la cartera de productos y servicios de la empresa, en una transición hacia una industria de soluciones. Los actuales sistemas de automatización industrial integran cada vez más sensores y capacidades de comunicación, lo que establece requerimientos, cada vez más exigentes, para la monitorización de grandes cantidades de datos y la interoperabilidad entre procesos, y ponen el foco en el lado del *software* y las comunicaciones. La explotación inteligente de estos datos debe permitir la mejor gestión de los recursos disponibles, y la interconexión de todos los equipos, máquinas y sistemas de gestión y supervisión, junto con la aparición del *cloud computing*, abren nuevas perspectivas para la fabricación inteligente, a la vez que establecen nuevos retos de ciberseguridad en la Industria 4.0.

(4)Estas tecnologías ya se estudiaron en la primera asignatura del Máster, y su estudio se ampliará en la siguiente y última.

La cuarta revolución industrial implica cambios sustanciales en la fábrica que nos llevan al concepto de *smart factory*. Se trata de una empresa industrial altamente conectada y que gestiona una gran cantidad de datos, y caracterizada por ser flexible, eficiente, receptiva, colaborativa, segura, predictiva y sosteni-

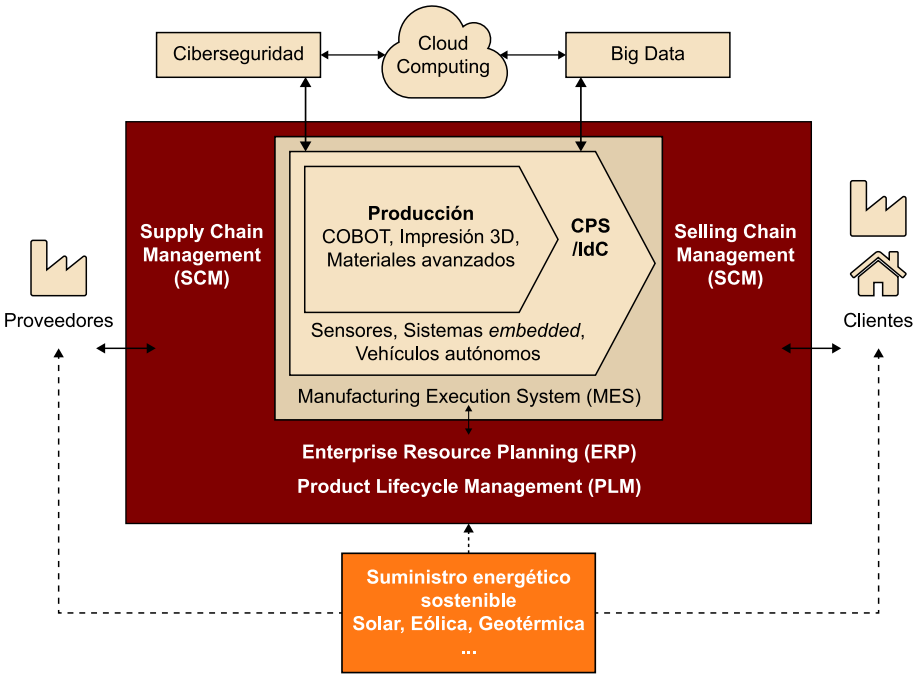
(5)Disponible en: <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>

ble, en un modelo industrial con innovación colaborativa, medios de producción conectados, cadenas de valor integradas y canales de distribución y atención digitales (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015[5]).

Los sistemas ciberfísicos posibilitan la integración de la cadena de valor virtual con la real. Esto es posible a través de sistemas *embedded* de última generación que trabajan de manera colaborativa suministrando un flujo continuo de datos del proceso de fabricación y hacen posible la integración óptima del sistema físico con un sistema virtual caracterizado por un flujo de datos y un modelo, que permiten el control remoto del proceso físico. Los CPS permiten la comunicación y el intercambio de información en formato de flujo de datos entre diferentes máquinas, y están equipados con múltiples y diversos sensores y actuadores. También incorporan capacidad de almacenamiento y análisis de datos en tiempo real, y una elevada conectividad para su incorporación a redes. A menudo, los CPS incorporan capacidades de control, vigilancia y recopilación de datos, y deben cumplir con requerimientos básicos como los de seguridad (en sus dos vertientes de *safety* y *security*), privacidad, muy bajo consumo de energía, y restricciones de tamaño, facilidad de uso y adaptabilidad. Los CPS trabajan como un sistema por definición y forman parte de lo que se denomina *Internet of Things* (IoT), que puede ser entendido como una nube de datos e información, similar conceptualmente a los CPS aunque con un alcance más amplio, ya que sus componentes pueden estar funcionando de forma independiente y no solo incluidos en un CPS.

La combinación, en la planta industrial, de las nuevas tecnologías de la producción con las tecnologías de la información y las comunicaciones permite la digitalización del sistema productivo (Figura 1) y la incorporación de una función de inteligencia que caracterizan la *smart factory*.

Figura 1. Las tecnologías de la smart factory.



Fuente: Elaboración propia

En la fábrica inteligente la digitalización llega hasta el producto, que es digital (como es el caso de la impresión 3D), lleva asociado un servicio (digitalización de una máquina con el servicio de mantenimiento predictivo) o simplemente es inteligente. Los productos inteligentes son productos capaces de hacer cálculos, almacenar datos y comunicarse e interactuar con su entorno (Mühlhäuser *et al.*, 2008), y serán estudiados en la presente asignatura.

2. Transformación digital y *smart factory*

2.1. El modelo de gestión de la empresa

El proceso de transformación digital de la empresa, no acaba en la digitalización de su proceso productivo, y debería comenzar por la revisión y concreción de su modelo de gestión. Es necesario un modelo desagregado que permita visualizar separadamente los diferentes procesos de negocio de la empresa, y por tanto la visión clásica de la empresa como un conjunto de recursos, humanos y materiales, y unas funciones de coordinación tecnológica queda superada por el modelo de cadena de valor añadido (Porter, 1985). La empresa es vista como un conjunto de actividades de valor[6] que actuando de manera conjunta generan un valor añadido, que en la figura 2 se representa mediante el margen.

(6)Son las diferentes actividades que realiza la empresa y que pueden agruparse en dos tipos: actividades primarias y actividades de soporte. Las primeras, son las implicadas en la fabricación del producto, su venta, transferencia al comprador, y la asistencia postventa. Las segundas, son las actividades que dan soporte a la cadena primaria proporcionando insumos, tecnología, recursos humanos y funciones generales de administración.

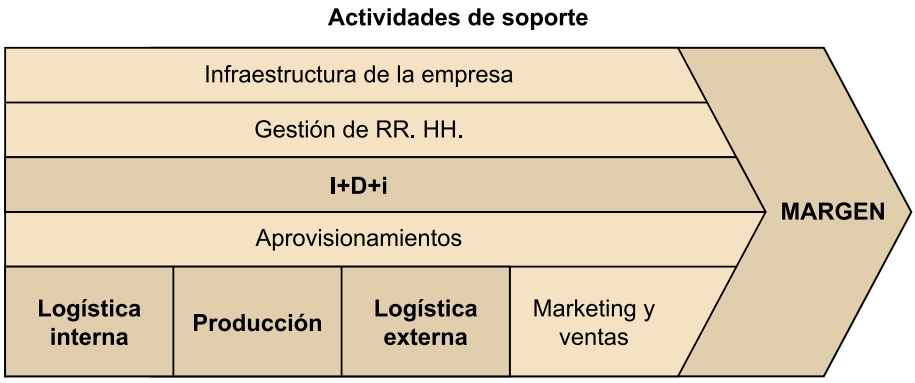
Dado que la transformación digital de la empresa obliga a prestar una especial atención a la gestión de sus activos intangibles, y que desde la perspectiva del *management* moderno esta circunstancia nos aproxima al paradigma de la gestión del conocimiento, que a su vez engloba los dos paradigmas del *management* anteriores (la gestión de la calidad y la gestión por procesos), hablaremos aquí de procesos de negocio en lugar de actividades de valor. Así, consideraremos la empresa como un conjunto de procesos y subprocesos de negocio que se desarrollan e interaccionan con el objetivo de generar un valor añadido. Según Weske:

"Un proceso consiste de un conjunto de actividades que se ejecutan coordinadamente, en un entorno técnico y organizacional. Estas actividades, miradas en forma conjunta, logran un objetivo empresarial. Cada proceso de negocio es implantado específicamente por una sola organización, pero puede interactuar con los procesos de negocio ejecutados por otras organizaciones" (Weske, 2007; pág. 5).

Deberíamos añadir a la definición anterior que los procesos de negocio han de ser medibles y orientados al rendimiento, generan resultados específicos para clientes internos o externos, responden a algún evento específico y sus actividades deben generar valor.[7]

(7)La fidelización de clientes es un proceso de negocio dentro de "*Marketing* y venta", y resulta evidente que fidelizar a un cliente genera valor para la empresa.

Figura 2. Cadena de valor añadido



Fuente: Elaboración propia a partir de Porter (1985).

En la figura 2 se destacan las actividades de valor o procesos de negocio que se trabajan en esta asignatura: I+D+i, Logística interna, Producción y Logística externa. En realidad, las actividades de valor del modelo de Porter se descomponen en procesos de negocio más simples, que pueden ser definidos y diseñados con detalle concretando los procedimientos de gestión de la empresa. La tabla 1 recoge una posible concreción de los procesos de negocio de la empresa relacionados con las actividades de valor.

Tabla 1. Procesos de negocio de la empresa

Proceso de negocio	**Subproceso de negocio**
PP1: Logística interna	PP1.1: Gestión de *stock* de materias primas PP1.2: Gestión de almacén de materias primas
PP2: Producción	PP2.1: Planificación de la producción PP2.2: Fabricación PP2.3: Control de la producción PP2.4: Mantenimiento del sistema productivo PP2.5: Calidad de fabricación
PP3: Logística externa	PP3.1: Gestión de *stock* de productos acabados PP3.2: Gestión de almacén de productos acabados PP3.3: Distribución
PP4: *Marketing* y ventas	PP4.1: Inteligencia de mercado y segmentos objetivos PP4.2: Gestión de la cartera de productos y propuesta de valor PP4.3: Lanzamiento del producto PP4.4: Fidelización y desarrollo de clientes PP4.5: Venta de productos y servicios PP4.6: Elaboración, soporte y gestión de la red comercial PP4.7: Seguimiento y control de ventas
PP5: Servicio	PP5.1: Contacto con el cliente PP5.2: Análisis y resolución de incidencias PP5.3: Retención y recuperación de clientes
PS1: Infraestructura	PS1.1: Tesorería, financiación y contabilidad PS1.2: Gestión de cuentas para cobrar y pagar PS1.3: Seguimiento de resultados y análisis de rentabilidad
PS2: Gestión de RR. HH.	PS2.1: Planificación, selección y contratación de personal PS2.2: Evaluación de la ejecución, remuneración e incentivos PS2.3: Gestión administrativa y comunicación interna
PS3: I+D+i	PS3.1: Vigilancia tecnológica PS3.2: Emprendimiento corporativo PS3.3: Investigación PS3.4: Ingeniería e innovación

Proceso de negocio	Subproceso de negocio
PS4: Aprovisionamientos	PS4.1: Inteligencia de proveedores PS4.2: Compras PS4.3: Gestión de proveedores

2.2. Tecnologías para la transformación digital

Una vez establecido el mapa de procesos de negocio de la empresa,[8] hay que proceder a su digitalización, aspecto que debería contemplar un doble enfoque: tecnológico y estratégico. Si los procesos de negocio están definidos, será necesario, por una parte, aplicar la reingeniería de procesos para su optimización, aprovechando las posibilidades ofrecidas por las tecnologías digitales, y, por otra, concretar el soporte tecnológico para cada proceso de negocio. Si los procesos de negocio no están definidos, se diseñarán con ese mismo criterio. El proceso de transformación digital de la empresa permite conseguir:

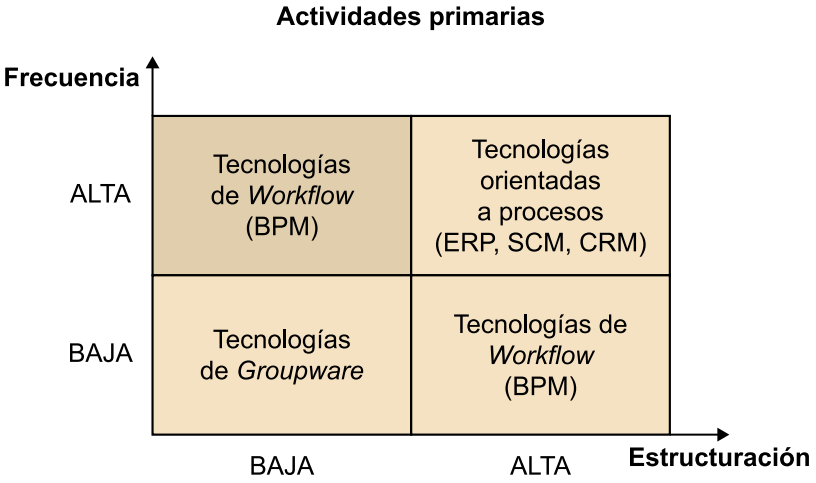
(8)El mapa de procesos de negocio de la empresa, además de recoger todos los procesos definidos, indica la relación entre los mismos y los clasifica, generalmente en tres categorías: estratégicos, operativos y de soporte.

- Una mejora de la eficacia a través de la reingeniería de procesos adecuando el diseño del proceso a las posibilidades que ofrecen las tecnologías digitales.
- Una mejora de la eficiencia al automatizar el proceso de negocio mediante la incorporación de las TIC.
- La integración de tareas a través de la coordinación entre diferentes áreas funcionales. La gestión es por procesos, pero sobre la base de una plataforma tecnológica integradora. En esta integración deberían incorporarse clientes, proveedores y socios.

Existen múltiples alternativas tecnológicas para la digitalización de un proceso de negocio que pueden resumirse en tres grandes grupos[9] en función del grado de estructuración y de la frecuencia de ejecución del proceso (figura 3). Cuando los procesos de negocio son muy estructurados y deben ejecutarse con mucha frecuencia (por ejemplo, el proceso de “Compras”), las tecnologías ideales para su digitalización son las plataformas orientadas a la automatización y la integración de procesos (ERP, SCM, CRM). Deben entenderse como plataformas modulares con capacidad de escalabilidad para su adecuación al entorno. En el otro extremo, si el proceso de negocio es muy poco estructurado y su frecuencia es baja, es aconsejable el empleo de tecnologías de Groupware (GW, 'trabajo colaborativo'). Estas herramientas dan soporte a la gestión de procesos con participantes que cooperan de forma más o menos aleatoria, como por ejemplo la creación de nuevos productos o la gestión de proyectos. Entre los dos extremos mencionados, una posible solución es el empleo de herramientas de Workflow (BPM), que posibilitan la automatización de los procesos de negocio mediante la gestión de los movimientos de la información, documentos y transacciones generadas a través de la secuencia de pasos que constituyen los procedimientos de trabajo.

(9)Se describen brevemente las categorías indicadas sin entrar en el detalle del proceso de digitalización, que escapa a los objetivos de la presente asignatura. El proceso de transformación digital de la empresa será más profundamente estudiado en la siguiente asignatura: "Transformación digital de la empresa industrial".

Figura 3. Tecnologías para la digitalización



Fuente: Elaboración propia.

Contenido complementario

ERP: Enterprise Resource Planning; SCM: Supply Chain Management/; Selling Chain Management; CRM: Customer Relationship Management; BPM: Business Process Management

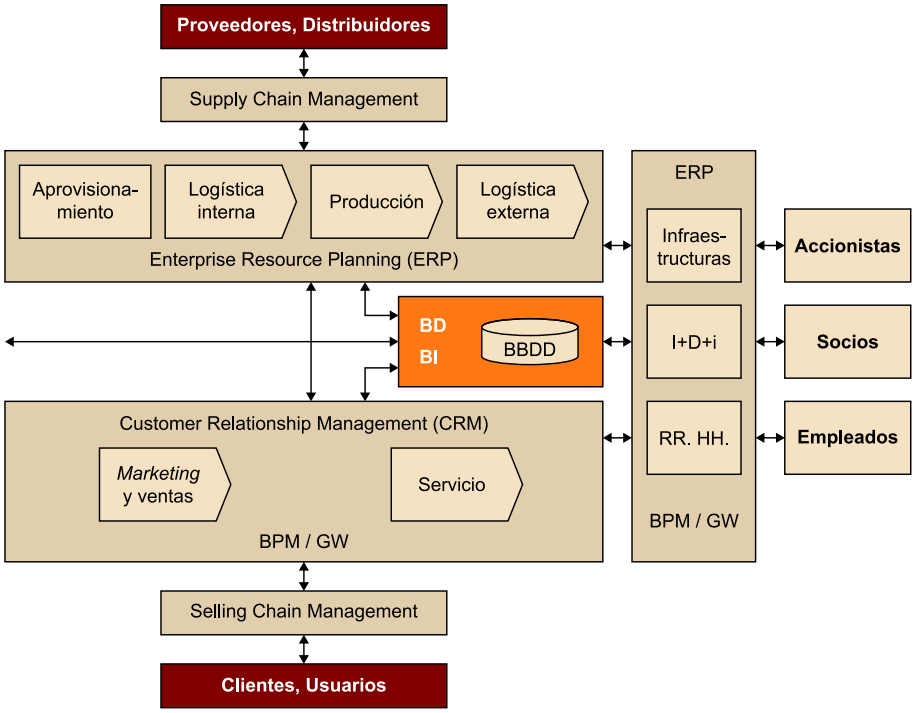
Tradicionalmente el ERP ha sido la plataforma de integración vertical en la empresa industrial, empleada para la gestión de operaciones y de buena parte de los procesos de soporte de la cadena de valor añadido. Por otra parte, SCM y CRM son plataformas de integración horizontal, que permiten la incorporación de agentes externos como proveedores, clientes y distribuidores. La figura 4 muestra esquemáticamente la empresa digitalizada, con indicación de los procesos principales y los de soporte, y de las correspondientes tecnologías para su digitalización. La función de inteligencia se implementa mediante el uso de tecnologías de *backoffice*, como Big Data (BD) y Business Intelligence (BI), que permiten diferentes niveles de análisis de los datos procedentes tanto de procesos internos como externos. El proceso de “Producción” es un proceso que incluye, entre otros, el proceso de fabricación, digitalizado como se indicó en el apartado 1 del presente documento.

Es evidente que estas no son las únicas tecnologías para la transformación digital de la empresa, aunque es cierto que son las más importantes. Como veremos en esta y en la siguiente asignatura del Máster, existen otras tecnologías para la digitalización de procesos de negocio, como PLM (Product Lifecycle Management), que se trabaja en esta asignatura, y MES (Manufacturing Execution System), que se trabajará en la asignatura de "Transformación digital de la empresa industrial".

Resulta evidente que el proceso de transformación digital va más allá del área de producción y que no se trata simplemente de un proceso de aplicación tecnológica, sino que sus implicaciones alcanzan a todas las áreas de la empresa. La incorporación masiva de las TIC a la empresa para digitalizar sus procesos de negocio representa un importante cambio con respecto a las anteriores revoluciones industriales. Mientras que en la primera y la segunda revoluciones industriales el paradigma tecnoeconómico estaba asociado a una tecnología

basada en *inputs* baratos de energía, en la tercera y muy especialmente en la cuarta el paradigma está asociado a una tecnología basada en *inputs* baratos de información derivados de los importantes avances en el campo de la microelectrónica, y en el de las tecnologías de la información y la comunicación.

Figura 4. La empresa digitalizada. Smart Factory



Fuente: Elaboración propia.

Así, cuando la tecnología nos ha permitido almacenar y gestionar cantidades enormes de información hemos empezado a preocuparnos por factores de carácter intangible muy relacionados con la información. Al mismo tiempo, la empresa industrial empieza a interesarse por la gestión del conocimiento y del capital intelectual, para implementar políticas de gestión basadas en la información y el conocimiento de valor para la empresa. Serán estas políticas, y no la tecnología, las responsables de la generación de valor, aunque sin estas la implantación de aquellas resulta imposible. Por tanto, aunque las tecnologías para la digitalización han sido fundamentales para la configuración de la fábrica inteligente, el discurso de la digitalización de la empresa no es un discurso tecnológico, sino un discurso sobre información, conocimiento e inteligencia.

De esta forma, el proceso de transformación digital de la empresa es estratégico y multidimensional, y de una elevada complejidad, y require de la participación de personal especializado y de una nueva cultura empresarial que entienda el valor de los intangibles.

3. Plan de actuación. El camino hacia la fábrica inteligente

Resulta evidente que el proceso de transformación digital de la empresa industrial es complejo y abarca una multiplicidad de aspectos, más allá de la simple aplicación de tecnología, que siendo necesaria no es suficiente. No hay una solución única y general, que depende del tipo de empresa (producto y sistema productivo), de su tamaño, su nivel de facturación, su nivel de internacionalización y su grado actual de digitalización, entre otros factores. Es necesario, por lo tanto, definir una hoja de ruta que permita a la empresa iniciar y seguir un camino hacia el nuevo modelo de la *smart factory* (Enginyers de Catalunya, 2017).[10] Pero además, el éxito del proceso de transformación digital de la industria exige ciertos requisitos que escapan al control de la empresa individual y que pueden concretarse en (Smit *el al.*, 2016):[11]

(10)Disponible en: <http://www.eic.cat/promocio/e_coneixement/docu/2017_Guia_PIMES_I40.pdf>

(11)Disponible en: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf

- Estandarización de sistemas, plataformas y protocolos
- Cambios en la organización del trabajo, en consonancia con los nuevos modelos de negocio de la empresa digital
- Seguridad digital y protección del *know-how*
- Disponibilidad del capital humano adecuado
- I+D+i
- Marco legal adecuado

Aunque no existe un modelo generalmente aceptado para la caracterización de la fábrica inteligente, lo cual, por otra parte, es difícil debido a las especificidades de la empresa que pueden condicionar el camino hacia la Industria 4.0, sí podemos apuntar algunos aspectos relevantes que deben ser considerados en la confección de la hoja de ruta hacia la fábrica inteligente.

3.1. Modelo de negocio

A pesar de la importancia estratégica de la tecnología en la *smart factory*, cabe destacar las posibilidades de innovación no tecnológica ante la necesidad de nuevos modelos de negocio relacionados con los cambios de los procesos internos, resultado de su digitalización, y de las relaciones de la empresa con su entorno (proveedores, clientes, competidores, universidades, Administraciones). Aparecerán también nuevos modelos de negocio relacionados con la digitalización del producto, que permitirá incorporar una función de inteligencia que facilitará la *servitización* del producto. Un caso paradigmático de digitalización del producto ocurre con la sustitución de las técnicas de fabricación extractivas por las de fabricación aditiva. Esta sustitución no es posible hoy por hoy por una cuestión de limitación de la tecnología de impresión 3D, pero en un futuro un fabricante de piezas que sustituyese sus tornos y fresadoras

por impresoras 3D, instaladas en la planta de su cliente, eliminaría prácticamente los costes de la cadena logística y pasaría a convertirse en una empresa con una propuesta de valor diferente; pasaría de vender piezas a vender *know-how* (fichero con la pieza a imprimir).

3.2. Integración de la cadena de valor

En el contexto actual, una empresa debería competir y cooperar con muchas otras corporaciones relacionadas. La integración horizontal entre empresas permite crear un ecosistema eficiente, en el que información, finanzas y materiales pueden fluir, apareciendo nuevas redes de valor que pueden dar lugar a nuevos modelos de negocio. La digitalización de la empresa (procesos e incluso producto) propicia nuevas formas de interactuar con proveedores y clientes. Las tecnologías digitales permiten estrechar la conexión entre fabricantes, proveedores y clientes, facilitando cadenas de valor verdaderamente automatizadas. Este proceso de integración horizontal también irá acompañado de otro de integración vertical de la gestión de todos los procesos de negocio internos de la empresa (logística, fabricación, marketing, servicio, etc.). En la fase más avanzada hacia la configuración de la fábrica inteligente deberá completarse la integración de los sistemas de información de la empresa y de los clientes, proveedores y socios, y deberán existir procesos de relación automatizada. Esta integración es beneficiosa para todos los agentes del ecosistema. Los clientes se benefician de disponer de información en tiempo real sobre sus pedidos y reclamaciones, al tiempo que los productores pueden mejorar sus productos a partir de la realimentación de información de los usuarios. Por otra parte, los proveedores obtienen información en tiempo real sobre existencias reales y demanda futura de los productores, con lo que pueden planear y organizar mejor su logística.

3.3. Producto

La Industria 4.0 contempla, en general, un nuevo tipo de producto con sensores, componentes identificables y procesadores capaces de generar información (digitalización) y conocimiento (procesamiento de información) de valor para el usuario y que realimenta el sistema de fabricación para la mejora. La digitalización del producto hace que se pueda incorporar al mismo una serie de funciones que permiten monitorizar su estado y el del usuario, analizar su uso y su integración con ingeniería para la optimización del diseño, la fabricación y el mantenimiento. Se trata de productos capaces de identificarse, proporcionando además información sobre sus propiedades, estado e historial, a lo largo de todo su ciclo de vida. Son productos capaces de percibir y de interactuar con el entorno, y que generan en tiempo real grandes cantidades de datos de diferentes tipos (temperatura, imágenes, vídeos, etc), que pueden ser gestionados en tiempo real, localmente o remotamente, para la generación de valor para los diferentes agentes participantes en su ciclo de vida.

3.4. Capital humano

Los importantes cambios que implica la transformación digital de la empresa hacia la fábrica inteligente tendrán un significativo impacto en el mercado laboral, y exigirán nuevos perfiles de capital humano (*smart worker*) para la gestión de las nuevas organizaciones (*smart factory*) y de sus relaciones con el entorno. En la Industria 4.0:

> "Serán necesarios perfiles profesionales con capacidad adaptativa y de tomar decisiones en entornos de complejidad, inteligencia social, capacidad de abstracción y de razonamiento basado en los datos, alfabetización digital, transdisciplinariedad y habilidades colaborativas y para gestionar información. En este sentido será fundamental el papel de los trabajadores STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) para la innovación, el crecimiento económico y la competitividad global" (Horrillo y Triadó, 2018).

3.5. Innovación

El carácter multidisciplinar y complejo de la innovación, conjugado con la velocidad de cambio tecnológico, los costes y riesgos de acceso al mercado, y la reducción del ciclo de vida de los productos están acentuando, cada vez más, el carácter colectivo de la actividad innovadora empresarial. Así, en la actualidad, el carácter interactivo y distribuido de la actividad innovadora y sus conexiones con la investigación propician la cooperación empresarial, con objetivos de innovación, a través de alianzas estratégicas en tecnología, acuerdos de colaboración en I+D, y redes de innovación que permiten corregir los errores del mercado en referencia al proceso de innovación. En la última década se ha puesto un cierto énfasis en el carácter abierto del proceso de innovación, en el que las empresas utilizan fuentes de ideas y conocimiento internas y externas desplegando nuevos modelos de negocio para la mejora del rendimiento corporativo (Open Innovation).

3.6. Sostenibilidad

El sector industrial ejerce, de múltiples formas, una importante presión sobre el medio ambiente (consumo de recursos naturales, consumo de energía, emisiones, residuos, etc.), y es necesario encontrar formas de reducirla manteniendo los desafíos para la industria. Así, un objetivo principal para la fábrica inteligente es la eficiencia en el uso de recursos y energía, sistemas que serán cada vez más importantes. La Industria 4.0 puede brindar un importante apoyo a través de la gestión continua de la energía y los recursos empleados en la función de producción, optimizando en todo momento su consumo y reduciendo las emisiones, y contribuir de forma sustancial a la sostenibilidad de la *smart factory*. La optimización del proceso de fabricación conducirá a una reducción significativa de las emisiones de CO_2, lo que hará factible la ubicación de las fábricas en zonas urbanas, y ello provocará tanto beneficios sociales (conciliación de la vida familiar y profesional) como ambientales (minimización de emisiones por desplazamientos diarios al lugar de trabajo). Tecnologías

como la fabricación aditiva pueden tener un papel importante en términos de sostenibilidad por un mejor uso de los recursos, una reducción de residuos y emisiones y disminuir los costes logísticos por descentralización.

3.7. Tecnología

Como ya se ha dicho, la tecnología no es suficiente pero es necesaria. Las tecnologías para la fábrica inteligente pueden agruparse en tres grandes categorías de habilitadores (MINETUR, 2015, pág. 39). En primer lugar un conjunto de tecnologías que permite combinar funciones de comunicación, información, datos y componentes mecánicos (robótica colaborativa, impresión 3D), mediante redes de sensores y actuadores, y sistemas *embedded* con elevada capacidad de gestión de datos en tiempo real (la combinación de estas tecnologías definen los sistemas ciberfísicos de la fábrica inteligente). Una segunda categoría de tecnologías hacen posible las comunicaciones de alto nivel y un segundo nivel de tratamiento de datos. Seguidamente, esta segunda categoría de tecnologías alimenta de forma segura (ciberseguridad) la tercera categoría de tecnologías, correspondiente a la capa de inteligencia. Esta tercera categoría de tecnologías incluye las nuevas aplicaciones empresariales de gestión (ERP, CRM, SCM, PLM, MES, BPM) y tratamiento de información (*Big Data*, *Business Intelligence*), y las plataformas para el trabajo colaborativo, tanto entre unidades de una determinada empresa como entre diferentes empresas del entorno.

Para acabar, cabe indicar que *smart factory* es un concepto evolutivo y que, como ya se ha apuntado, alcanzar este modelo de fábrica requiere un proceso que depende de múltiples factores y que es difícil de generalizar. Aun así, se propone a continuación un plan de actuación no exhaustivo para llegar al modelo de fábrica inteligente:

- Sensibilización de la dirección con respecto a la importancia de las soluciones de la Industria 4.0. Formación del personal en esta área de conocimiento. Concreción del modelo de gestión y análisis de procesos susceptibles de mejora.
- Creación de comités interdepartamentales para una visión holística de las actuaciones. Incorporación de sistemas ciberfísicos y de tecnologías en la nube para el tratamiento de la información generada. Sentar las bases para soluciones de trazabilidad y ciberseguridad. Análisis de las posibilidades de las nuevas tecnologías de la producción (especialmente robótica avanzada).
- Resolución completa de la integración vertical, integrando los sistemas de fabricación de planta con el resto de la gestión de procesos de negocio.
- Trabajar en la analítica de datos y la incorporación de inteligencia artificial. Se inicia el proceso de integración horizontal con clientes, proveedores y socios, y se automatizan las relaciones. Posible incorporación de tecnologías innovadoras, como la realidad virtual y aumentada en procesos como la formación y el mantenimiento.

- Consolidación de las actuaciones anteriores y plantear la posibilidad de generar conocimiento de valor adicional. Incorporación progresiva de tecnologías como la inteligencia artificial, la simulación y la virtualización. Completar la integración horizontal de los agentes del ecosistema. Modelo de gestión en mejora continua.

Bibliografía

Enginyers de Catalunya – Comissió Indústria 4.0 (2017). *Camins cap a la Indústria 4.0*. Grup de Treball sobre Software, Anàlisi i Integració.

Hermann, M.; Pentek, T.; Otto, B. (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Working Paper No. 01/2015, Technische Universität Dortmund - Fakultät Maschinenbau, Audi Stiftungslehrstuhl Supply Net Order Management.

Horrillo, J.; Triadó, J. (2018). *Carencias formativas de los grados de ingeniería para la industria 4.0 en España. Una propuesta de actuaciones*. DYNA Ingeniería e Industria. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8604>

Kagermann, H.; Wahlster, W.; Held, J. (2013). *Deutsche P.A. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Final Rep. Ind. 4.0 WG. 82.

MINETUR. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2015). *La transformación digital de la industria española. Industria conectada 4.0*.

Mühlhäuser, M. (2008). Smart Products: An Introduction. En: Mühlhäuser, M., Ferscha, A., and Aitenbichler, E. (eds.). *Constructing Ambient Intelligence*, pág. 158–164. Springer Berlin Heidelberg.

Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press.

Smit, J.; Kreutzer, S.; Moeller, C.; Carlberg, M. (2016). *Industry 4.0. Directorate General for Internal Policies*. European Parliament.

Wallace, E.; Riddick, F. (2013). *Panel on Enabling Smart Manufacturing*. State College, USA.

Weske, M. (2007). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.