Guía Industria 4.0

Parte I

GENERALITAT VALENCIANA

IVACE INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

Asebec ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MAQUINARIA Y BIENES DE EQUIPO PARA LA INDUSTRIA CERÁMICA

AICE jtc UNIVERSITAT JAUME I

CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN

Industria 4.0 o Industria Conectada es un concepto sobre el que todavía hoy se discute la autoría. Ciertos autores indican que fue acuñado por primera vez en el año 2011 en la Feria de Hannover, donde el Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance presentó su visión de la industria del futuro, describiendo la cada vez más extendida integración de las tecnologías de la información y de las comunicaciones en la producción industrial[1]. Otros autores defienden que fueron varios grupos de estudios económicos quienes comenzaron a emplear el término en el año 2013[2] al referirse al cambio que se estaba comenzando a producir en la industria. En algunos documentos también se postula que directamente fue el gobierno alemán[3] quien propuso el nombre al tiempo que definía un ambicioso programa de apoyo para el fortalecimiento de la industria alemana, cuyo posicionamiento líder en el ámbito de la automatización industrial empezaba a verse amenazado por el potencial de las economías emergentes.

En cualquier caso, lo que queda claro es que el término "4.0" alude al potencialmente revolucionario impacto de las tendencias industriales actuales que significará, con mucha seguridad, la continuación de las tres revoluciones industriales previas.

1 ¿Qué es la Industria 4.0?

La conocida como cuarta revolución industrial está siendo posible gracias a un conjunto de acciones o eventos que han ido desarrollándose en los últimos tiempos y que han ido dirigiendo la industria hacía la configuración conocida a día de hoy. Al contrario de las tres revoluciones industriales anteriores, la cuarta revolución industrial no está siendo descrita desde un punto de vista histórico, sino que está siendo interpretada al mismo tiempo que tiene lugar.

Echando la vista atrás, puede verse como desde la primera revolución industrial, originada por la mecanización de los medios productivos mediante la introducción de la máquina de vapor, numerosos avances se han ido produciendo para mejorar las capacidades productivas y condiciones de operación de la industria manufacturera. La segunda revolución industrial, marcada por la electrificación de los medios productivos, supuso la aparición de las cadenas de montaje y, con ellas, el inicio de la producción en masa y el desarrollo de nuevos materiales y formas de transporte. Finalmente, la tercera revolución industrial tuvo lugar en los años 70 con la incorporación de los sistemas informáticos y las electrónicas de control, lo que permitió el inicio de la automatización de las operaciones y tareas repetitivas.

Actualmente, las compañías manufactureras, especialmente en Europa y EEUU, deben hacer frente a mercados cada vez más competitivos. En un entorno globalizado y dinámico de elevada complejidad, la toma de decisiones debe realizarse de forma correcta y con la mayor rapidez posible para seguir manteniendo la competitividad a largo plazo. Desafortunadamente la gestión actual de las operaciones de las compañías no consigue afrontar con éxito este reto, lo cual puede poner en riesgo, en algunos casos, el control de sus núcleos de negocio. En efecto, en muchas ocasiones la toma de decisiones puede suponer latencias del orden de semanas o meses y las decisiones prácticamente siempre están basadas en sensaciones intuitivas, en lugar de en el análisis de información detallada. En muchos casos los procesos de desarrollo de producto establecen especificaciones de producto sin antes haber realizado un análisis detallado de los requerimientos del cliente. Cuando una compañía aprende un nuevo procedimiento o técnica es muy complicado realizar grandes cambios en los procesos de desarrollo o manufactura, siendo además estos cambios muy costosos en recursos y tiempo. Muchos empleados y directivos dedican gran parte de su tiempo buscar y/o esperar información correcta para la toma de decisiones. Estos son algunos ejemplos que ilustran las deficiencias más grandes actualmente existentes en la

industria y el potencial que posee una transformación de amplio alcance como la iniciada con la cuarta revolución industrial.

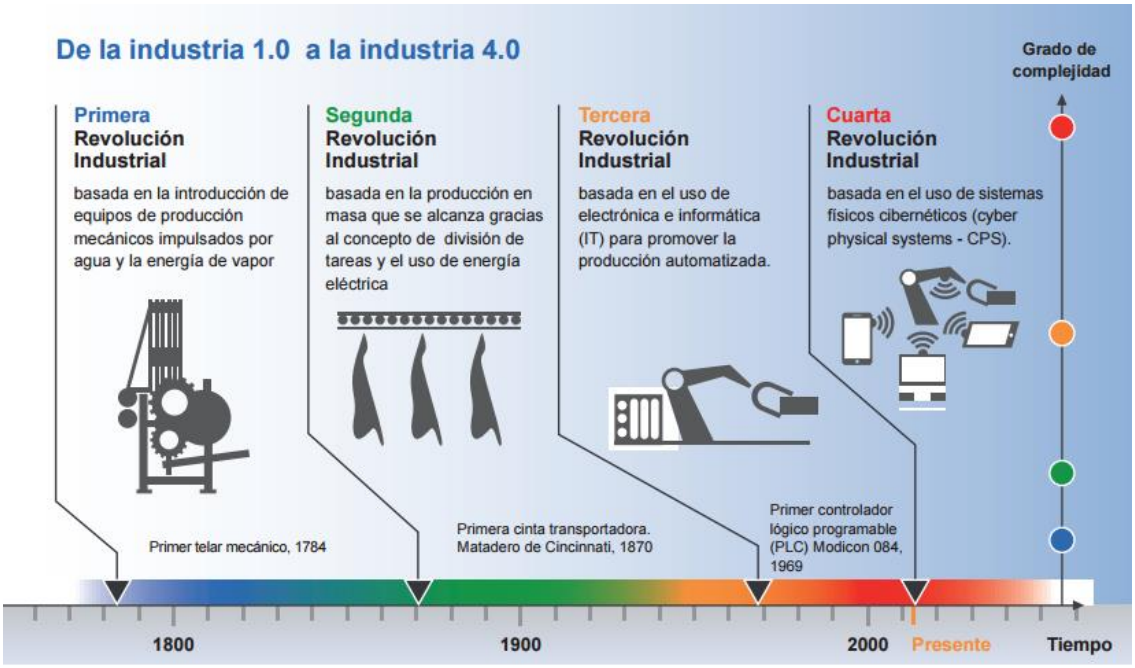

Figura 1. Revoluciones industriales a lo largo de la historia (fuente: http:/nctch.com.mx).

La Industria 4.0 es también conocida en España como Industria Conectada, a raíz de la iniciativa estratégica del mismo nombre, promovida por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y circunscrita a la Agenda para el Fortalecimiento del Sector Industrial en España (2014)[4]. El potencial económico de la Industria 4.0 reside en su habilidad para acelerar la toma de decisiones corporativa y adaptar los procesos internos de las organizaciones a los cambios del entorno. Esto aplica, tanto a los procesos de mejora de la eficiencia en las diferentes áreas de las empresas (ingeniería, operaciones de manufactura, servicios, ventas y marketing), como a los modelos de negocio en general.

Así, puede definirse la Industria 4.0 como "un proceso de transformación digital de la industria que permitirá la comunicación multilateral e interconectividad entre los sistemas ciber-físicos y las personas mediante la manipulación en tiempo real de grandes volúmenes de datos". La disponibilidad de grandes cantidades de datos e información, a precios abordables y en tiempo real, facilita una mejor comprensión de las relaciones existentes entre los diferentes eventos que pueden afectar a los procesos, proporcionando las bases para acelerar la toma de decisiones.

Apoyándose en una correcta estructura organizativa, la Industria 4.0 permite a las empresas reaccionar de forma más ágil en unos mercados progresivamente más dinámicos, reducir los tiempos de desarrollo de productos más adaptados a las necesidades de sus clientes y llevar dichos productos a los mercados de forma exponencialmente más rápida. La interconexión de los componentes tecnológicos, pero sobretodo de su estructura organizativa, permite a las compañías adquirir una agilidad que es clave en la transformación asociada a la Industria 4.0.

La agilidad es una característica estratégica que resulta cada vez más importante para las empresas de éxito. En el contexto actual, la agilidad de una compañía hace referencia a su habilidad para implementar cambios en tiempo real en sus procesos internos, incluyendo cambios sistemáticos en sus modelos de negocio.

Frente a eventos que puedan originar cambios en sus operaciones o modelos de negocio, las compañías deben necesariamente adaptarse para poder seguir manteniendo su competitividad. Cuanto más rápida sea la adaptación de una organización frente a dichos eventos, mayor será el beneficio que se pueda obtener de esa necesaria adaptación y, por tanto, mayor será la ventaja competitiva que pueda obtener. Dichos eventos pueden ser de múltiples naturalezas y tener un diferente grado de incidencia sobre el negocio. Así, por ejemplo, se estaría hablando de un evento a corto plazo al referirse a una avería en una línea de fabricación. En cambio, modificaciones en los requerimientos de los productos fabricados y, consecuentemente, en su diseño, su proceso de fabricación y en los procesos asociados de aprovisionamiento, calidad y servicios, serían eventos de medio o largo alcance.

A día de hoy, cuando un evento tiene lugar, desde el mismo momento en el que se produce existen inevitablemente una serie de retrasos en su detección, análisis y aplicación de las correspondientes medidas de adaptación. La principal razón por la que existen estos retrasos es el hecho de que la información relevante no está lo suficientemente integrada para permitir un procesado completo de principio a fin, desde la captura de datos hasta el análisis de los mismos.

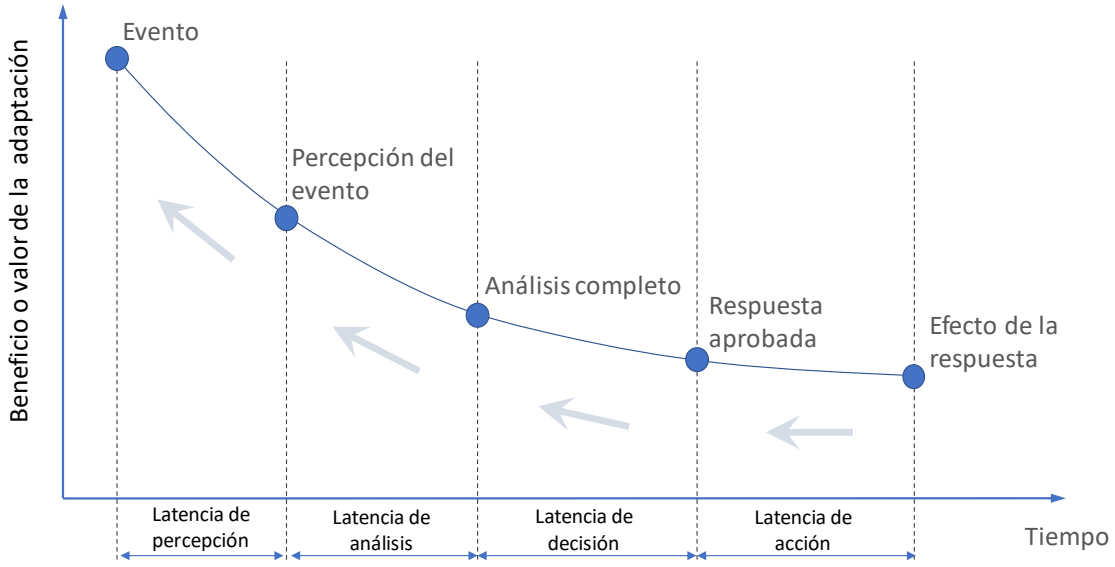

Figura 2. **Proceso de adaptación frente a cambios en el entorno (fuente: basado en Hackathom 2002; Muehlen/Sahpiro 2010)**

Las capacidades de la Industria 4.0 pueden ayudar a las empresas manufactureras a reducir drásticamente el tiempo transcurrido entre que un evento sucede y el momento en el que se lleva a cabo la implementación de las correspondientes medidas correctivas. Para conseguir esto una serie de tecnologías habilitadoras deben ser desplegadas y la información relevante debe hacerse accesible, eliminando las "islas de información". Al mismo tiempo, deben incorporarse nuevos enfoques en la estructura y cultura organizativa de las compañías con el fin de estar preparadas para los continuos cambios asociados a la transformación.

Todos estos conceptos que actualmente parecen tan lejanos, ya están siendo hilvanados y probados en la actualidad en diferentes sectores industriales. Existen máquinas capaces de trabajar de forma autónoma, reportando en tiempo real información sobre sus estados de funcionamiento, que puede ser procesada y analizada para prever fallos o averías y anticiparse a ellos reduciendo los tiempos de respuesta y mejorando el rendimiento de las instalaciones. Es posible conocer con precisión la rentabilidad productiva de un determinado producto y que etapas son las más críticas en su proceso de fabricación. Se puede conocer si la organización de recursos productivos está debidamente adaptada a las necesidades productivas de un determinado artículo o si un

determinado gasto energético está justificado o podría ser optimizado. A pesar de que estos sencillos ejemplos ilustran las posibilidades que ofrece actualmente la transformación iniciada, las medidas implementadas en muchas compañías se limitan a proyectos piloto que en muchos casos no implican más que acciones de validación tecnológica. De hecho, en palabras de Henning Kagermann, presidente de Acatech, *"la vacilante implementación de Industria 4.0 se debe a estructuras organizacionales rígidas que han crecido orgánicamente y una cultura conservadora donde la gente no tiene el valor de hacer las cosas de manera diferente."* [5] Esta es la razón por la que necesariamente, el proceso de transformación tecnológica ligado a la Industria 4.0 debe ir acompañado de un cambio cultural en las organizaciones que garantice la adaptación al nuevo paradigma.

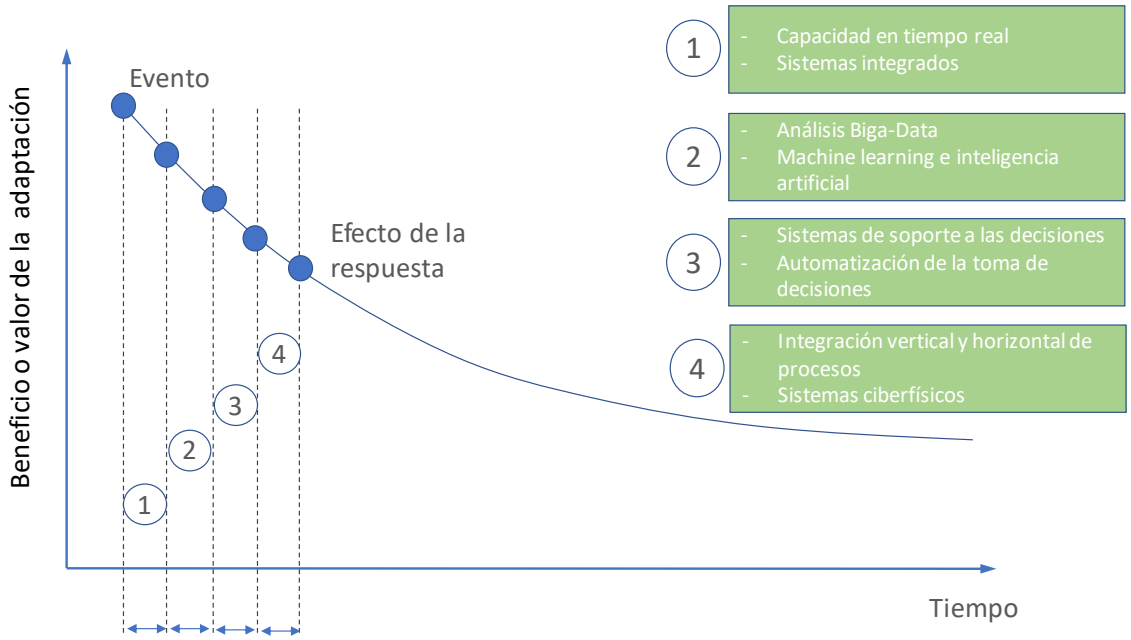

Figura 3. **Aumento del beneficio asociado a una adaptación gracias al aprendizaje de las organizaciones proporcionado por la Industria 4.0. (fuente: basado en FIR e.V. en RWTH Aachen University).**

El objetivo final de la transformación hacía la Industria 4.0 es la creación de empresas ágiles, basadas en el conocimiento, capaces de adaptarse a las condiciones cambiantes de su entorno gracias al uso de tecnologías habilitadoras, a la capacidad de aprendizaje de la propia organización y al empleo de procesos rápidos de toma de decisiones, que aprovechen los datos de calidad disponibles.

2 Proceso de transformación hacía la Industria Cerámica 4.0

Como se ha explicado en el apartado anterior, la tendencia actual en los procesos de producción industrial es tener sistemas ágiles y flexibles que respondan rápidamente a los constantes cambios y alteraciones en el entorno de producción. Las industrias de proceso en general, tienen que ser capaces de responder a las exigencias de los mercados actuales y de las cadenas de suministro, por lo que las tendencias de personalización de producción en masa, tiempos rápidos de respuesta, ciclos de vida del producto más cortos, y el uso eficiente de la energía y los recursos, les están obligando a considerar aspectos como la flexibilidad, la agilidad de reconfiguración, la descentralización y la integración de proveedores.

Del mismo modo que en otros sectores manufactureros, la industria cerámica también se enfrenta a este tipo de retos a fin de proporcionar control de producción, supervisión y gestión de sistemas que respondan a las necesidades de flexibilidad y respuesta rápida de los procesos de fabricación.

A día de hoy, en una planta cerámica es casi imposible encontrar sistemas avanzados de control como, por ejemplo, sistemas de medida en continuo que informen a las personas del desarrollo de las operaciones en tiempo real o sistemas de alarmas que avisen de la desviación de las variables de las consignas establecidas. Aunque aparentemente el proceso de fabricación cerámica parezca automatizado, en realidad únicamente la manipulación del producto y algunas etapas aisladas lo están, sin que además la información fluya de manera razonable y ágil entre las mismas. La información que se gestiona es manual, discontinua, poco elaborada, desfasada en el tiempo respecto a la producción real, y en muchas ocasiones no se analiza porque se desconfía de su validez.

En efecto, este desconocimiento de la información del proceso de producción impide que exista una correcta trazabilidad de la producción en continuo y en tiempo real, la cual permitiría conocer con exactitud aspectos tan importantes como, por ejemplo, el coste real de fabricación de una baldosa cerámica, el rendimiento de un sistema en el proceso de producción o el consumo energético derivado de la producción de un lote, entre otros. Todo ello, sin olvidar que una explotación correcta de la información generada en el proceso productivo permitiría utilizar modelos de negocio avanzados para mejorar la competitividad de las empresas.

Los más modernos modelos de control de procesos existentes hablan del concepto de control jerárquico introducido por el Max Plank Institute. Según esta teoría, en cualquier industria convencional puede definirse seis niveles de control jerarquizados. En una planta cerámica actual, los niveles resueltos son el nivel de seguridad de las máquinas (nivel 0), parte de los niveles 1, 2 y 3, correspondientes a la utilización de sensores y actuadores (nivel 1), control básico (nivel 2) y desarrollo de interfaces con el operador y supervisión del control (nivel 3). Los niveles 4 y 5, correspondientes a la gestión completa de la planta, el control avanzado, la planificación del negocio y de la logística, en conexión con el proceso, están todavía por desarrollar en muchos casos.

Actualmente existen diferentes enfoques para llevar a cabo la transformación digital de las compañías, los cuales se estructuran, en muchos casos, en base a las iniciativas propias de cada país. En el caso de España, la Iniciativa Industria Conectada 4.0 establece un marco conceptual de Industria 4.0 cuya aplicación permite afrontar una serie de retos que plantea la digitalización de la sociedad y de la industria. Todo ello, con el fin de generar oportunidades para los sectores industriales que les permitan adaptar sus modelos de negocio, procesos, infraestructuras y organización a la nueva coyuntura.

Las empresas que afrontan con éxito los retos planteados contribuyen a generar un modelo industrial en el que la innovación es colaborativa, los medios productivos están conectados y son completamente flexibles, las cadenas de suministro están integradas y los canales de distribución y atención al cliente son digitales. Al mismo tiempo, este modelo facilita la gestión de un producto inteligente, personalizado y que permite la generación de nuevos modelos de negocio.

El marco conceptual promovido por la Iniciativa Industria Conectada 4.0 refleja cómo debe ser y operar una PYME que se haya transformado en una Industria 4.0 en un horizonte temporal de 5 años, contemplando cinco dimensiones específicas:

- Estrategia de negocio y mercado
- Procesos
- Organización y Personas
- Infraestructuras
- Productos y servicios

		De...	Hacia...
1	Usar métodos colaborativos para potenciar la innovación	...innovación individual y continuista	... innovación involucrando varias empresas y clientes y disruptiva
2	Combinar flexibilidad y eficiencia en los medios productivos	... medios productivos no siempre eficientes y poco flexibles	... medios productivos eficientes, flexibles e incorporando inteligencia
3	Gestionar tamaños de series y tiempos de respuesta más cortos	... fabricación en serie con tiempos de respuesta largos	... tiradas y tiempos cada vez más cortos
4	Adoptar modelos logísticos inteligentes	... gestión logística reactiva	... gestión logística integrada e inteligente
5	Adaptarse a la transformación de canales (digitalización y omnicanalidad)	... canales tradicionales inconexos	... digitalización de canales y gestión omnicanal
6	Aprovechar la información para anticipar las necesidades del cliente	... reactividad frente a la demanda	... análisis predictivo de las necesidades del cliente
7	Adaptarse a la hiperconectividad del cliente	... información limitada y poco difundida	... información exhaustiva con valor
8	Gestionar la trazabilidad multidimensional extremo a extremo	... poco o ningún seguimiento y visibilidad sobre la elaboración del producto	... transparencia en la trazabilidad multidimensional de todo el proceso productivo
9	Gestionar la especialización mediante la coordinación de ecosistemas industriales de valor	... cadenas de valor lineales	... especialización y ecosistemas de valor
10	Garantizar la sostenibilidad a largo plazo	... poca sensibilización en sostenibilidad	... impacto ambiental del proceso productivo y producto minimizado
11	Ofrecer productos personalizados	... productos estándares	... personalización masiva de productos
12	Adaptar el portfolio de productos al mundo digital	... producto industrial tradicional	... evolución digital del portfolio de productos

Figura 4. Retos planteados por la digitalización de la sociedad y el entorno industrial (fuente: LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA. INFORME PRELIMINAR).

Figura 5. Marco conceptual de Industria 4.0 según la iniciativa Industria Conectada 4.0 (fuente: Herramienta de autodiagnóstico HADA.).

Las herramientas y conceptos propios de Industria 4.0, los cuales, debidamente aplicados, permiten el desarrollo de empresas ágiles y conscientes del cambio, son relativamente sencillos de

aplicar durante la implantación de nuevos modelos de negocio, empresas o procesos productivos. En cambio, cuando una empresa ya se encuentra asentada, disponiendo de un modelo de negocio consolidado y unos mercados a los que atender, la transformación hacía la Industria 4.0 debe realizarse de forma gradual y planificada. Tal es el caso de la mayor parte de las empresas de fabricación de baldosas cerámicas y de las de producción de polvo atomizado y fritas y esmaltes, tanto en el clúster cerámico español, como en el resto de países del mundo.

El marco conceptual definido por la iniciativa Industria Conectada 4.0 se encuentra enfocado a la transformación global de las empresas, especialmente de las PYME. De cara a ilustrar el proceso de transformación hacía la Industria Cerámica 4.0, especialmente en el proceso de fabricación, en el cual los asociados de ASEBEC son líderes tecnológicos, se prefiere seguir en esta guía el modelo establecido por la Agencia Alemana de Ciencia e Ingeniería (Acatech). El enfoque introducido por su modelo conceptual está basado en la sucesión de diferentes estados de madurez, los cuales definen una serie de niveles de desarrollo que pueden servir a las empresas de guía durante su proceso de transformación, desde los requerimientos básicos de la Industria 4.0 hasta la implementación completa.

Como se ha indicado, la introducción de la Industria 4.0 en cualquier sector industrial, en general, y en el sector de fabricación de baldosas cerámicas, en particular, requiere de una adecuación significativa de las competencias y capacidades digitales de la compañía y la introducción de cambios en su estructura organizativa. Puesto que se trata de una transformación profunda de las compañías, necesariamente debe llevarse a cabo en varios años. Además, es muy interesante planificar e implementar la transformación de manera que puedan observarse impactos positivos en la organización, tanto a nivel de mejora de la eficiencia, como de crecimiento, en diferentes estados del proceso de transformación. Procediendo de esta manera los beneficios de la transformación se hacen visibles en diferentes estadios, lo cual sirve de indicador para realizar el seguimiento del éxito global de la actuación.

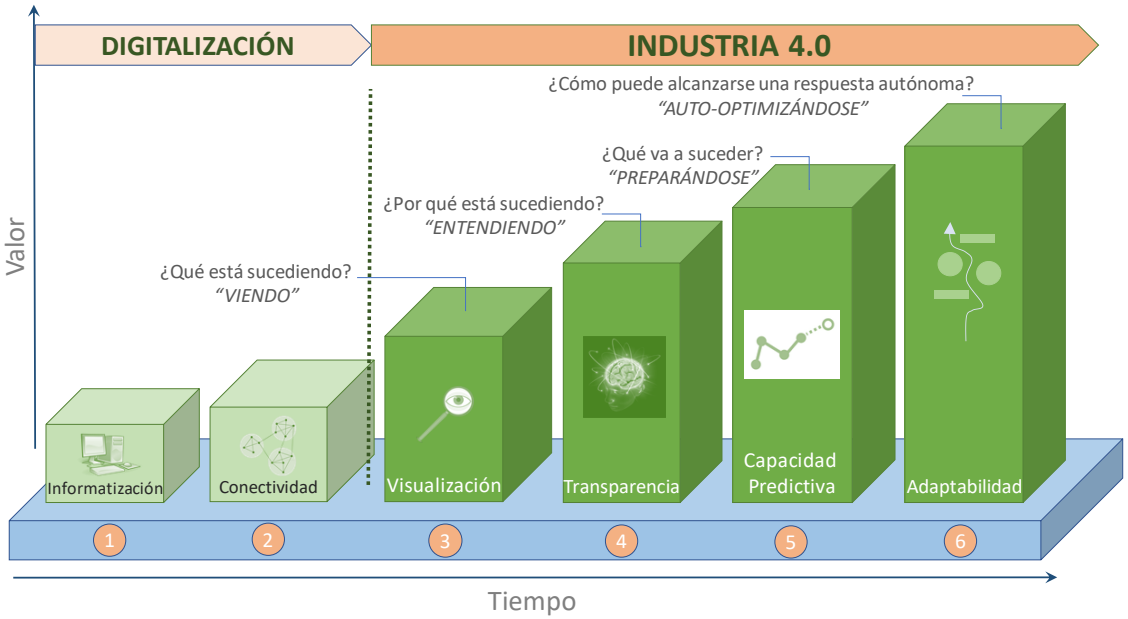

Figura 6. Etapas para el desarrollo e implementación de la Industria 4.0 (fuente: basado en FIR e.V. en RWTH Aachen University).

La estrategia de transformación de las compañías debe realizarse siguiendo un enfoque progresivo que comienza con los requerimientos básicos para la Industria 4.0 y les sirve de apoyo para convertirse una empresa ágil basada en el conocimiento. Dicho enfoque progresivo se estructura

en 6 niveles de desarrollo. Cada uno de ellos se apoya en el anterior y describe las capacidades que deben poseer las organizaciones para alcanzarlo y los beneficios que resultan del mismo.

A día de hoy, numerosas empresas están todavía enfrentándose al reto de crear las condiciones básicas para poder iniciar su transformación hacía la Industria 4.0. Esto significa que están todavía en un estado de digitalización. Aunque la digitalización en sí misma no forma parte de la Industria 4.0, la informatización y la conectividad son etapas o requisitos básicos para su implementación. Estas dos etapas iniciales están seguidas por otras cuatro en las que realmente se desarrollan las capacidades propias de la transformación hacía la Industria 4.0.

2.1 Primera etapa: Informatización

La primera etapa en el proceso de implementación es la informatización de los diferentes procesos de la compañía, la cual sirve de base para su digitalización. En esta etapa diferentes sistemas de información se implementan de manera aislada en los procesos productivos y las diferentes áreas de la empresa.

El grado de informatización de las empresas cerámicas es bastante avanzado, empleándose los ordenadores para la realización de tareas repetitivas, lo cual proporciona beneficios muy importantes a las empresas. Así, por ejemplo, gracias a la informatización del diseño cerámico y a la impresión digital, es posible fabricar productos cerámicos relativamente económicos, con niveles de calidad muy elevados y con niveles de precisión que no podrían haber sido alcanzados con otras tecnologías. Sin embargo, también es cierto que en el proceso de fabricación puede encontrarse todavía una cantidad significativa de maquinaría que dispone de interfaces digitales muy limitadas o incluso no las posee. Esto es especialmente acuciante en el equipamiento con periodos de vida útil más elevados o en los elementos productivos encargados únicamente de la manipulación y movimentación de piezas.

Un ejemplo del nivel de informatización podría referirse a una línea de conformado, secado y decoración de soportes de baldosas. Aunque en cada parte de esta línea se realizan operaciones repetitivas, con un elevado grado de precisión y automatismo, gracias al uso en la mayoría de los casos de sistemas informáticos de control, la información referente a la “receta” de trabajo y/o orden de fabricación debe ser transferida a los equipos de forma manual o, en otras palabras, las máquinas no están conectadas. Otro ejemplo más general podría referirse a las aplicaciones de negocio y/o gestión que no están conectadas con los sistemas ERP de la empresa. Este hecho puede conducir fácilmente a situaciones en las que los controles de calidad propios de un sistema de garantía de calidad estén generando datos que no estén correctamente asociados a las órdenes de fabricación o a las referencias de artículo, lo que dificulta posteriormente la explotación de los resultados.

2.2 Segunda etapa: Conectividad

En la etapa de conectividad, los despliegues aislados de sistemas informáticos son sustituidos o incorporados en componentes o sistemas conectados. La gran mayoría de aplicaciones de negocio empleadas por las compañías cerámicas se encuentran conectadas entre ellas, consiguiendo reflejar el núcleo de los procesos de negocio de las mismas. Esto ya no suele suceder así al nivel de los procesos productivos, donde las diferentes etapas de fabricación son islas de información que no comparten información entre ellas. Puede decirse que la mayoría de las tecnologías de operación existentes en las plantas cerámicas proporcionan conectividad y un cierto grado de interoperabilidad, pero la integración entre los sistemas informáticos y las tecnologías de operación no se ha producido todavía.

El Protocolo de Internet (IP) está siendo cada vez más utilizado en las empresas cerámicas, incluso a nivel de planta productiva. Gracias a que la versión actual del protocolo IPv6 permite un número de direcciones de red mucho más grande que su predecesor el IPv4, todos los componentes de los sistemas productivos pueden ser conectados sin necesidad de llevar a cabo traducciones de direcciones de red (NAT, del inglés, Netwrok Address Translation), lo cual es clave para la conocida como Internet de las Cosas.

Que una planta cerámica haya alcanzado el estado de conectividad significaría, por ejemplo, que en el momento que un diseño es creado y validado, los datos correspondientes al mismo pueden ser enviados a producción para que, una vez complementados con los datos correspondientes al artículo y necesidades, las etapas productivas puedan desarrollarse para la consecución de una determinada orden de fabricación. Durante el proceso productivo, al completarse cada una de las etapas, una confirmación de finalización podría generarse y enviarse automáticamente en tiempo real a través de un sistema de ejecución de la producción (MES, Manufacturing Execution System). Del mismo modo, la conectividad permitiría realizar asistencias remotas de máquinas y equipos que están siendo utilizadas en las instalaciones de los clientes, gracias a la disponibilidad de conexiones de gran ancho de banda a precios asequibles.

Es interesante destacar que, al igual que en otros sectores industriales, es habitual encontrar en el sector cerámico activos industriales que se mantienen en producción mientras sean capaces de producir productos con las calidades exigidas por el mercado. Así, no es difícil encontrar en las plantas equipamiento en uso con más de 25 años, cuya productividad sigue siendo elevada para ciertos productos pero que ofrecen una conectividad muy limitada. Pese a esto, actualmente, gracias a la conectividad proporcionada por el Protocolo de Internet y a la sensorización, es relativamente sencillo obtener datos de producción procedentes de estos activos industriales.

2.3 Tercera etapa: Visibilidad

El actual grado de sensorización de los procesos industriales permite la captura de datos de principio a fin con una gran cantidad de puntos de adquisición. Además, las tecnologías disponibles ofrecen la posibilidad de registrar en tiempo real todos los eventos y estados de todo el proceso productivo, más allá de la captura de algunas variables de procesos en ciertas etapas productivas, como se ha venido realizando hasta el momento. Esto ofrece la posibilidad de disponer de un modelo digital actualizado de la fábrica en cualquier momento, el cual se conoce habitualmente como “gemelo digital” o “sombra digital” (digital twin o digital shadow). Dicho “gemelo digital” ayuda a conocer lo que está sucediendo en todo momento, bien en el proceso productivo, o bien en la compañía, si este está extendido a todas las áreas de la misma. El interés de disponer de un “gemelo digital” reside en el hecho de poder realizar una gestión de las decisiones en base a la información generada a partir de datos reales.

La consecución de un “gemelo digital” en una empresa cerámica es un gran reto debido, fundamentalmente, a que la información se encuentra descentralizada en diferentes islas de datos, no existiendo, en muchos casos, un único origen válido. Además, sobre todo en los procesos de fabricación y logística, muchas veces la cantidad de información es limitada y su visualización está limitada a un cierto número de empleados que tienen la capacidad de acceder a la misma o de entender los sistemas en los que se almacena. Tal sería el caso, por poner un ejemplo, de las variables de proceso referentes a las operaciones de prensado, las cuales están residentes en la propia máquina y no pueden ser consultadas a pie de máquina más que por los operarios y personal de la sección de conformado. Es decir, en cierta forma el uso extendido de la información en las empresas no es posible debido a las propias limitaciones de contorno de los sistemas. Sin embargo, para conseguir el objetivo de transformación hacía una empresa ágil, es imprescindible conseguir

en las empresas una captura global de datos, la cual es fundamental para poder general información relevante sobre las operaciones de las plantas y del negocio.

Por ejemplo, un grado de visualización adecuado permitiría definir con mayor precisión los plazos de entrega y determinar cómo estos se ven afectados por un problema en particular gracias al uso de indicadores e informe en tiempo real. El uso de esta información permitiría a su vez a los responsables de producción ajustar la planificación y los clientes y proveedores podrían ser informados.

La consecución de este tercer nivel, que supone el inicio de la transformación hacía la Industria 4.0 propiamente dicha, requiere, sin lugar a dudas, un cambio de mentalidad de las compañías. Más que recoger datos para poder llevar a cabo un cierto análisis o apoyar el desarrollo de ciertas operaciones, lo datos deben permitir la creación de un modelo actualizado en todo momento del proceso de fabricación o, en el mejor de los casos, del negocio completo, que no esté atado al análisis individual de datos concretos.

Para una empresa cerámica, la combinación de las actuales fuentes de información, con los datos proporcionados por nuevos sensores instalados en planta y la integración de los sistemas de ERP y MES proporcionará una imagen completa del estado de las operaciones, que dará visibilidad a la situación de la compañía. Esta integración, combinada con el uso de aplicaciones modulares y aplicaciones móviles contribuirá a la consecución de una única fuente de información para la gestión de las operaciones.

2.4 Cuarta etapa: Transparencia

Como bien se ha explicado, la consecución de la tercera etapa en el proceso de transformación supone el disponer de un “gemelo digital” que refleje el estado de la empresa en todo momento. La siguiente etapa supondría el uso de dicho “gemelo” para comprender las razones por las que tienen lugar los acontecimientos y utilizar este proceso de comprensión para generar conocimiento en base al análisis casuístico. Con el fin de identificar e interpretar interacciones en el propio “gemelo digital”, los datos capturados deben ser analizados aplicando herramientas y técnicas propias de la ingeniería de procesos. La explotación de los datos para crear información y la correspondiente contextualización en el ecosistema industrial proporciona el conocimiento de proceso requerido para dar soporte a la toma de decisiones de manera rápida y eficaz, incluso cuando estas presentan un elevado grado de complejidad.

En este sentido, las nuevas tecnologías habilitadoras que permiten el análisis de grandes volúmenes de datos pueden ser de gran ayuda. De hecho, el Big Data es un término muy en boga que se utiliza frecuentemente en estos contextos, haciendo referencia a las grandes cantidades de datos que no pueden ser procesadas y analizadas mediante herramientas convencionales para el análisis de procesos de negocio. Así, el término Big Data también se utiliza para referirse a las tecnologías y aplicaciones que permiten la explotación de dichas cantidades de datos tan grandes y, habitualmente, heterogéneas.

Generalmente, las aplicaciones de Big Data suelen desplegarse en paralelo a las aplicaciones de gestión de negocio tales como ERPs o MES. De esta manera ofrecen una plataforma común en la que llevar a cabo, por ejemplo, análisis estadísticos que permitan revelar interacciones entre los eventos y acontecimientos reflejados en el “gemelo digital”.

Esta transparencia alcanzada en el cuarto nivel de la transformación puede ser empleada para llevar a cabo una monitorización avanzada de las condiciones de funcionamiento de los diferentes equipos y máquinas de una planta. Los parámetros capturados de un equipo pueden ser

continuamente analizados en busca de relaciones y dependencias, tanto con los parámetros de otros equipos, como con la calidad de los productos fabricados. Todo ello con el fin de generar información agregada que refleje con precisión las condiciones de operación de los activos industriales y sea la base para llevar a cabo acciones de mantenimiento preventivo.

Dada los especiales requerimientos de calidad y acabado estético que se les exigen a los productos cerámicos, en una empresa de fabricación de baldosas, el nivel de transparencia del proceso de fabricación estará especialmente enfocado a establecer y conocer las relaciones existentes entre las variables de proceso y las propiedades del producto final. A pesar de que desde hace años estas relaciones son conocidas, no se ha llevado nunca a cabo un análisis de las mismas en tiempo real en condiciones industriales de fabricación. Así, por ejemplo, aunque se conoce que la densidad aparente de los soportes recién prensados afecta al tamaño final de los productos gresificados, la actual transparencia en el proceso no permite, al finalizar un lote productivo, establecer la relación directa entre esas dos variables. Algo similar sucede con otras variables de proceso. Sólo por poner algunos ejemplos, podría citarse la relación existente entre la humedad del polvo atomizado y la propia densidad aparente, la relación entre la curvatura de las piezas a la salida del horno y las condiciones de cocción o la influencia de las condiciones de cocción y/o aplicación de esmalte sobre la tonalidad del producto.

Para alcanzar dicha transparencia que garantice el conocimiento preciso de la relación existente entre las variables críticas del proceso de fabricación cerámica, se considera imprescindible disponer de un proceso adecuadamente trazado. Al asegurar la trazabilidad de los productos se pueden establecer relaciones inequívocas entre las propiedades de los mismos (tonalidad, tamaño, curvatura, defectos, etc.) y su paso por las diferentes etapas de fabricación. De lo contrario es muy complicado establecer relaciones de causalidad entre los diferentes eventos acontecidos en las diferentes etapas de producción al no conocer, a ciencia cierta, cómo estas han afectado al producto fabricado. Por poner un ejemplo del grado de transparencia que puede alcanzarse en el proceso cerámico, si se dispone de una trazabilidad por unidad de producto es posible incluso relacionar defectos detectados por los equipos de visión artificial en piezas concretas, con sus condiciones de procesado y/o el estado de funcionamiento del equipamiento.

2.5 Quinta etapa: Capacidad predictiva

Apoyándose sobre las herramientas implantadas con la introducción de la etapa de transparencia, puede desarrollarse el siguiente nivel basado en dotar de capacidad predictiva a los diferentes procesos de la compañía, especialmente, al proceso productivo. Una vez alcanzados los hitos referentes a este quinto nivel, la empresa es capaz de simular diferentes escenarios futuros y elegir los más interesantes. Ello supone proyectar hacía el futuro el “gemelo digital” con el fin de predecir una serie de posibles escenarios, que serán priorizados tras valorar sus probabilidades de ocurrir. Como resultado de estas predicciones, las compañías son capaces de anticiparse a posibles eventos, acelerando sus procesos de toma de decisiones y la implantación de medidas correctivas. Aunque en este estadio las medidas de actuación contra eventos e imprevistos siguen realizándose manualmente, la mayor agilidad conseguida en la toma de decisiones proporciona una mejorar sustancial en los tiempos de ejecución, desde las fases de diseño y/o planificación, hasta la expedición del producto final. Además, gracias a la anticipación aportada por la capacidad predictiva, la reducción de eventos imprevistos como, por ejemplo, interrupciones productivas o cambios en la planificación, contribuye enormemente a la mejora de la robustez de las operaciones de las plantas y, con ello, del negocio en general. Tal sería el caso de la predicción de una avería grave como puede ser la rotura de un multiplicador de presión en una prensa hidráulica cuya reparación o sustitución anticipada puede ser mucho menos gravosa para la empresa que una parada imprevista de varios días de la línea de fabricación.

Es importante destacar que el grado de capacidad predictiva alcanzado por una empresa depende enormemente del trabajo de base previamente realizado en la implementación de los niveles anteriores de la Industria 4.0. Un "gemelo digital" correctamente implementado, así como un conocimiento específico de las interacciones que puedan existir en los procesos de la compañía, es imprescindible para asegurar que, tanto las predicciones, como las recomendaciones de actuación que de ellas se derivan, son de la máxima calidad posible.

2.6 Sexta etapa: Adaptabilidad

La capacidad predictiva alcanzada en el nivel anterior es fundamental para poder automatizar las acciones de una compañía y los procesos de toma de decisiones. Para garantizar una continua adaptación de las compañías a un entorno en cambio constante, se hace necesario delegar ciertas decisiones a sistemas informáticos que son capaces de adaptar de la manera más rápida posible, en base a la predicción previa de escenarios, las operaciones del negocio.

El grado de adaptabilidad que se alcance en el proceso de transformación dependerá de la complejidad de las decisiones a tomar y de los posibles beneficios que pueda aportar. Así pues, en muchos casos será preferible automatizar únicamente procesos individuales, como podría ser la planificación de la producción. En otros casos, operaciones más generales pero que impliquen la realización repetitiva de ciertas acciones valdría la pena, al menos, evaluar la posibilidad de dotarlas de cierta autonomía. En cualquiera de los casos es muy importante valorar siempre el riesgo que supondría la automatización de aprobaciones y avisos para clientes y proveedores, pues podrían llegar a ser contraproducentes. Por ejemplo, en ciertos casos convendrá que la secuencia de órdenes de fabricación planificadas pueda cambiarse automáticamente en base a predicciones de fallo o para evitar retrasos de ciertos pedidos productivos, sin embargo, podría darse el caso de que no sea conveniente informar a un determinado cliente del retraso de un pedido.

Bien es cierto que este sexto nivel de la transformación hacía la Industria 4.0 pueda ser el que más dificultades muestre en su implementación, sobre todo en el sector de fabricación de baldosas cerámicas. En cualquier caso, se puede decir que el objetivo principal de esta última etapa de adaptabilidad habrá sido alcanzado cuando la empresa sea capaz de usar los datos reflejados en su "gemelo digital" para tomar de la forma más rápida posible decisiones que, a su vez, proporcionen los mejores resultados posibles. Todo ello, gracias a la introducción de acciones correctivas que deberán ser implantadas, en la medida de las posibilidades, de forma automática, sin intervención humana.

Un ejemplo sencillo de esta adaptabilidad podría ser una regulación automática del proceso de cocción de productos gresificados en base a medidas de las propiedades del producto cocido a la salida del horno y a la anticipación proporcionada por el análisis de las condiciones de conformado de los soportes. En una primera aproximación, los datos reflejados en el "gemelo digital" sobre las condiciones de conformado podrían ser empleados para predecir diferentes escenarios a la salida de horno y dar unas recomendaciones para llevar a cabo la cocción del material de forma optimizada. Al mismo tiempo, mediante el seguimiento en tiempo real de las propiedades del producto cocido, dichas recomendaciones podrían ser validadas o adaptadas para garantizar que en la fabricación de sucesivos lotes del mismo material la producción se desarrolle con mejores estándares de calidad. En un estado más avanzado, dichas recomendaciones podrían incluso ser alimentadas de forma automática al propio sistema de control del horno para que no se requiriese, a priori, de una asistencia humana directa, sino que los operarios tuviesen únicamente un rol de supervisión. Este ejemplo, relativamente simple, puede incrementar su complejidad si sobre él se van añadiendo variables que puedan tener influencia en las propiedades del producto, pero también en las operaciones de la empresa.

3 Estructura general de la guía para la transformación hacía la Industria Cerámica 4.0

El proyecto ASEBEC 4.0 pretende poner en marcha una plataforma web fruto de la colaboración empresarial entre varias entidades pertenecientes a la Asociación. Dicha plataforma estructura y centraliza las adaptaciones que deben experimentar las industrias fabricantes de baldosas cerámicas, así como las compañías fabricantes de bienes de equipo, para permitir la transformación digital de la industria manufacturera de baldosas cerámicas.

Durante décadas el proceso de fabricación de baldosas cerámicas ha demostrado ser eficaz para la fabricación de la mayor parte de los productos, sin embargo, en la actualidad, existen nuevos retos que requieren de otras formas de hacer las cosas. La necesidad de fabricar nuevos productos, manteniendo los estándares de calidad y reduciendo los costes de fabricación, la globalización de la tecnología actual, introduciendo nuevos actores como los países emergentes, la incorporación de nuevas tecnologías que permiten la digitalización completa de la planta, hacen que en estos momentos sea necesario llevar a cabo el planteamiento de una nueva fábrica del futuro para la producción de baldosas cerámicas.

Algunos de los retos que debería resolver la nueva fábrica del futuro son la fabricación de productos de grandes formatos, la diferenciación de los productos respecto de los competidores, la incorporación de nuevas técnicas de decoración, el recubrimiento de nuevas superficies, etc., todo ello manteniendo la calidad del producto final, a unos costes contenidos y con un impacto medioambiental reducido. Los fabricantes españoles de maquinaria y bienes de equipo para la industria cerámica que integran ASEBEC, quieren jugar un importante papel en este proceso de automatización y digitalización de las plantas cerámicas; las máquinas que ofrecen a sus clientes deben estar preparadas para abordar este reto. ASEBEC 4.0 es un proyecto que pretende poner en marcha una plataforma colaborativa para mostrar a los fabricantes de baldosas cerámicas qué modificaciones tienen que realizar en sus máquinas y entornos productivos, qué sistemas de control deben implementar y qué información necesitan conocer en tiempo real para convertir su fábrica actual en una fábrica inteligente, completamente alineada con los conceptos de Industria 4.0.

Para ello, en primer lugar, es imprescindible llevar a cabo una serie de análisis de necesidades que permitan generar la información con la que será alimentada la plataforma. Dentro de estos análisis de necesidad los puntos más importantes a tratar son:

- Definición de las variables de operación y control críticas
- Identificación del estado actual del arte en tecnologías de captura de datos
- Identificación de las necesidades de interconexión y digitalización de los diferentes elementos productivos.

En base a esta información, la plataforma aporta, como funcionalidades más significativas, por un lado, información sobre los sistemas de control existentes y a desarrollar dentro de cada una de las etapas de fabricación y, por otro lado, sobre los sistemas de integración de la información y los dispositivos de control automático del proceso de fabricación.

Junto al desarrollo de la plataforma, que supondrá la cooperación de diferentes actores del sector cerámico, el proyecto también implicará un importante avance en el conocimiento sobre la industria 4.0 para el entorno de ASEBEC. En efecto, la propia estructuración de la información

requerida para la puesta a punto de la plataforma, así como el desarrollo de nuevos sistemas de información, control y procesado, bien planteados como soluciones ya establecidas o generados una vez definida la plataforma, permitirán extender la “cultura” de la industria 4.0 a todo el clúster cerámico.

BIBLIOGRAFÍA

WEB:

1.https://www.deutschland.de/es/topic/economia/globalizacion-comercio-mundial/industria-40-en-la-feria-de-hannover

2.http://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834

3.http://www.bmbf.de/en/19955.php

4.http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/index.aspx

5.http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf

Libros y Guías:

- INDUSTRIA CONECTADA 4.0 LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA. INFORME PRELIMINAR (http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf)
- Gilchrist, A. "Industry 4.0: The Industrial Internet of Things". Editorial Apress. 2016
- Ustundag, A, Cevikcan, E. " Industry 4.0: Managing The Digital Transformation". Editorial Springer. 2018