

LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LOS SISTEMAS *LEAN* A TRAVÉS DE LA INDUSTRIA 4.0. UN CASO PRÁCTICO

FRANCISCO JAVIER ALFONSO RUIZ

Saint-Gobain Weber

EVA MARTINEZ CARO

JUAN GABRIEL CEGARRA

Universidad Politécnica de Cartagena

La metodología *Lean Manufacturing* (LM) forma parte de la cultura general de mejora continua en ininidad de empresas en todo el mundo. En *LEAN* menos es más: menos defectos, menos movimientos, menos variabilidad, menos inventario; en definitiva, menos desperdicios, persiguiendo en todo momento la reducción de los mismos para aumentar la eficiencia global de la empresa. Por otro lado, las tecnologías de la información (TIC) y su

aplicación industrial a través de la industria 4.0 (I-4.0), han permitido a las empresas organizar mejor sus recursos, contribuyendo a una mejora en la gestión de su información, una mayor flexibilidad y aumento de su capacidad funcional. A priori parece evidente que las TIC pueden ayudar a las empresas a mejorar sus resultados, sin embargo, las fricciones entre el mundo *LEAN* y las TIC son a menudo frecuentes, ya que, pese a que en ambos casos las mejoras en su aplicación son evidentes, una mala puesta en práctica puede ocasionar resultados indeseados.

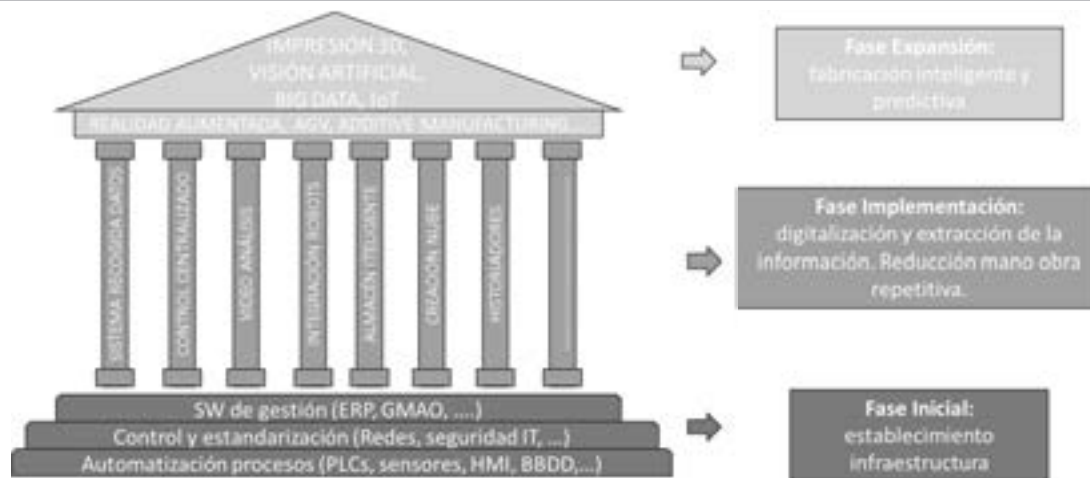
La finalidad del este artículo es agrupar las herramientas de la I-4.0 más utilizadas, para posteriormente centrarse en la interacción entre la metodología *LEAN* y la I-4.0, haciendo especial hincapié en la digitalización de estos sistemas hacia un *LEAN* digital y adaptado a la realidad futura de los entornos industriales, de manera que no sólo se eviten las fricciones entre ambos mundos, sino que se aproveche la I-4.0 para atenuar las históricas barreras de implementación de LM, potenciando y mejorando estos sistemas. Para finalizar, abordaremos un caso práctico desarrollado en

la empresa multinacional Saint-Gobain, en concreto en la división de fabricación de morteros industriales, donde se verá de forma empírica una aplicación real de digitalización de sistemas *LEAN* a través de la I-4.0, y las ganancias obtenidas en dicho proceso.

BLOQUE I. HERRAMIENTAS *LEAN* EN LA INDUSTRIA

Desde que Toyota diera a conocer al mundo su sistema de producción (*Toyota Production System* o *Lean Manufacturing*), muchas han sido las publicaciones y artículos referidos al mismo (Shah & Ward, 2002; McKone *et al.*, 2001; Womack & Jones 1996; Ohno 1988) tratando de explicar sus bondades y beneficios. No es el objeto de este estudio volver a hacer un repaso en profundidad a dicha metodología, sino más bien ver cuál es su interacción con la digitalización gradual a la que se están viendo sometidos los procesos industriales a través de la denominada I-4.0. No obstante, creemos que merece la pena recordar los principios fundamentales en los que se asienta este modelo de mejora continua.

FIGURA 1
EL TEMPLO DE LAS FASES DE LA I-4.0



Fuente: Elaboración propia

Los sistemas de fabricación *LEAN* tienen su origen en Toyota allá por la década de 1950, intentando dar respuesta a los acuciantes problemas de falta de calidad y sobrecostos de producción que atravesaba la compañía (Ohno, 1988). Dicha metodología fue recogida con posterioridad en diversas publicaciones (Sugimori *et al*, 1977; Krafcik, 1988; Womack, Jone & Ross, 1991), dando forma a lo que hoy se conoce como *Lean Manufacturing*. La metodología *LEAN* tiene como objetivo fundamental la eliminación de cualquier desperdicio (Womack, Jone & Ross, 1991), entendiendo como tal todo aquello que incurre en un gasto y no aporta ningún valor. Siempre que hablamos de beneficio o de valor, se habla desde el punto de vista del cliente.

Pese a que la bibliografía es abundante, y es relativamente sencillo encontrar consultores *LEAN*, muchas de las empresas que se embarcan en proyectos para adoptar los conceptos *LEAN* fracasan en su intento (Lucey, Bateman & Hines, 2005; Pay, 2008). Es por esto fundamental una correcta adaptación de dicha metodología a las necesidades reales de la empresa.

BLOQUE II. LA INDUSTRIA 4.0

La digitalización de los procesos industriales, y la interconexión entre los mismos, está dando lugar a un nuevo paradigma productivo que está llamado a ser la nueva revolución industrial (Rüßmann *et al*, 2016). Toda esta digitalización tecnológico-industrial se conoce como I-4.0, y cada vez son más las empresas interesadas en invertir sus activos en modernizarse e implementar los sistemas necesarios para alcanzar un nivel digital satisfactorio. Bajo nuestro punto de vista, como luego veremos explicado en el caso práctico, la I-4.0 no se puede implementar de forma integral en todos sus niveles, sino que más bien se ha de hacer por fases. A modo ilustrativo, en la figura 1 se explican las fases que, a nuestro

modo de ver, integran la I-4.0, y que se pueden resumir en las tres siguientes:

- Fase Inicial: En primer lugar, las bases del sistema, es decir, su infraestructura, que integra todas las herramientas y equipos de control y automatización de los procesos de negocio. Es una parte crítica para la futura implementación digital, en la cual se han de instaurar unas bases sólidas y con criterio normalizado de cara a poder sacar rendimiento de las siguientes fases. La fase inicial trata principalmente de *hardware* y equipos, haciendo especial hincapié en la parte de electrónica industrial y automatización de los procesos a través de la instauración de PLCs (controladores lógicos programables), programación, pantallas HMI (interfaz hombre-máquina), redes e interconexiones entre equipos, etc.; es decir, toda aquella infraestructura física encaminada a la posterior explotación de la información en fases posteriores.

La implementación de *software* básico de gestión, como MRP (planificación de requisitos de materiales) o GMAO (gestión del mantenimiento asistido por ordenador), también se integraría en esta parte, si bien a nivel de *software* habrá facetas de los mismos que serán implementadas más adelante, sobre todo en lo relativo a interconectividad y explotación de información; esta fase está más relacionada con el cambio en la operativa, pasando de un entorno clásico a un entorno digital.

- Fase de Implementación: En esta fase se inicia realmente la I-4.0, y es donde se saca rendimiento a todo lo implementado en la etapa anterior. Es el momento de extraer y explotar la información que ofrecen los sistemas de la infraestructura, con el objeto de analizarla y establecer acciones de mejora, y de aumentar el con-

FIGURA 2
PRINCIPALES PLATAFORMAS DE DIFUSIÓN DE LA I-4.0



Fuente: Industria Conectada

trol automático de los procesos para reducir la mano de obra repetitiva y de bajo valor añadido.

- Fase de Expansión: La parte final es aquella en la que tienen cabida las herramientas tanto actuales como futuras, y que busca la generación de sistemas autónomos capaces de interactuar con su entorno, predecir funcionamientos y actuar en consecuencia.

En el ámbito de la I-4.0, cada vez son más los países que desarrollan movimientos para fomentar y financiar su implantación. A modo de ejemplo destacamos las siguientes plataformas de difusión digital:

- España: Industria Conectada (1)
- Alemania: *Plattform Industrie 4.0* (2)
- Estados Unidos: *Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute* (3), *Industrial Internet Consortium* (4)
- Italia: *Piano Nazionale Industria 4.0* (5)
- Francia: *Industrie du Futur* (6)

La figura 2 presenta un mapa donde podemos ver con mayor detalle las principales plataformas de difusión de la I-4.0 en Europa.

Parece claro que la revolución digital industrial está tomando forma, y que sin duda el impacto en la

economía mundial será de gran calado. Así, se estima que en Alemania el impacto de la I-4.0 en la productividad industrial estará en torno al 25% (Rüßmann *et al*, 2016), lo que supondrá un aumento más del 1% de PIB germano. En el caso de España, pese a no encontrarnos todavía al mismo nivel industrial que otros países europeos, se está trabajando en buena línea. En el portal «Industria conectada» podemos encontrar información diversa en la materia, así como también convocatorias de financiación para abordar proyectos de digitalización, programas de asesoramiento para empresas, incluso una herramienta de autodiagnóstico, HADA, orientada a la evaluación del nivel de implementación de la I-4.0 en nuestras empresas.

Por último, cabe destacar la importancia de la colaboración entre empresas, e incluso entre países, para el intercambio de buenas prácticas en la materia que posibiliten sinergias y aceleren la transformación digital de los procesos industriales. En este sentido, cabe destacar las buenas plataformas de difusión que han desarrollado países como EE.UU. y Alemania, a través de las cuales es posible ver de forma ágil y sencilla los proyectos relacionados con la I-4.0 que se están llevando a cabo en diversas empresas de dichos países, posibilitando la exportación de dichos proyectos a empresas de otros sectores, aumentando de esta forma la productividad y competitividad industrial nacional.

BLOQUE III. INTERACCIÓN LEAN - I-4.0 DIGITALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS LEAN ↓

A continuación se procede a repasar los problemas y oportunidades asociados a la digitalización de los procesos industriales, sobre todo en entornos *LEAN*, estableciendo en todo momento un enfoque práctico sobre la implementación de estos sistemas, reduciendo en la medida de lo posible la problemática asociada, e intentando convertir en ventajas competitivas lo que a priori parecen amenazas. De esta forma veremos que la I-4.0 no sólo no genera fricciones con *LEAN*, sino que, si se enfoca bien, puede incluso ayudar a atenuar las históricas barreras de implementación del *Lean Management*.

Enfoque clásico: incompatibilidades entre LEAN e I-4.0. ↓

Si analizamos la bibliografía existente, nos encontramos con ciertas alusiones a la problemática, al menos a nivel teórico, en la implementación de *Lean Management* (LM) y la I-4.0 (Piszczalski, 2000; Rüttimann & Stöckli, 2016). Y es verdad que, bajo cierto punto de vista las fricciones existen y pueden llegar a generar un fracaso en la implementación de estos sistemas si no se manejan adecuadamente.

Para empezar, ambas requieren de muchos recursos para su implantación (Moyano Fuentes *et al*, 2012), por lo que en muchas ocasiones es necesario optar por implementar LM o I-4.0, de cara a evitar el colapso de los equipos, y la inversión excesiva de tiempo y dinero. Nos encontramos también con una confrontación de base, a nivel puramente conceptual, ya que LM establece la simplicidad como forma de vida, buscando disponer de la información justa, en el momento justo, y de la motivación y participación del equipo humano en la mejora continua, haciendo que los desperdicios sean visibles para todo el mundo (Womack, 2004; Ohno, 1988). En LM menos, es más.

En este sentido la digitalización puede generar falta de visibilidad, ya que la información se gestiona y almacena de forma centralizada, (Houy, 2005; Drew, McCallum & Roggenhofer, 2004), pudiendo generarse situaciones en las que los usuarios no dispongan de la información. Otro problema asociado a la digitalización puede venir del alejamiento de los gestores de la línea de fabricación (*shop floor*) (Houy, 2005; Sharma & Pankaj, 2016), y es que la disposición de información de forma remota hace que pueda resultar apetecible establecer un control de los KPIs (*Key Performance Indicators*, o Indicadores Clave de Rendimiento) desde el despacho, alejándose de la realidad cotidiana del proceso productivo.

Además, hay que tener en cuenta los denominados fenómenos como *Gold Plating* y *Silver-bullet Syndrome* (Brass *et al*, 2016). En primero de ellos hace referencia a que durante la implementación de un proyecto de digitalización, usuarios y desarrolladores implementan funciones adicionales a las originalmente previstas,

muchas de las cuales son innecesarias y acaban generando retrasos en la implementación. Es fundamental establecer bien los objetivos desde el inicio, y dejar las posibles mejoras para versiones posteriores, una vez se haya lanzado y probado el proyecto. En cuanto al *Silver-bullet Syndrome*, se da de forma generalizada en casi todas las implementaciones, y es aquel en el que los usuarios esperan que las nuevas tecnologías van a resolver todos sus problemas, quedando evidentemente defraudados al comprobar la realidad. Es muy importante formar adecuadamente a los usuarios, y que éstos conozcan las posibilidades reales de los sistemas, así como sus limitaciones. La tecnología ayuda y simplifica el trabajo, pero no es una varita mágica que elimina todos los problemas. En ocasiones la digitalización provoca que se dificulte la visualización de los procesos, al llevarse a cabo en ordenadores, lo que supone también un factor limitante (Sharma & Pankaj, 2016). Por el contrario, bien aplicado, puede dar lugar a un mayor control al tener una visión global del sistema desde cualquier punto de la línea.

Se ha de tener en cuenta también que la implementación de las TIC industriales lleva aparejado un inicio difícil de predecir (Brass *et al*, 2016), ya que hasta que no se ponen en marcha no se puede saber cómo van a funcionar con exactitud. La fase de testeo es compleja y los cambios difíciles de ver a priori. Los cambios en los entornos digitales y programados son más complejos, y a menudo requieren de mano de obra externa, lo que puede ralentizar en exceso las modificaciones y mejoras que se propongan. Son entornos más rígidos en cuanto al cambio, y se requiere de una buena definición inicial, que resulta compleja debido a que no se sabe a ciencia cierta el funcionamiento hasta que se ejecuta (Brass *et al*, 2016). Se sigue un procedimiento de prueba y error, ya que es difícil tener en cuenta todos los factores cuando se está programando.

Enfoque moderno: I-4.0 como habilitador en LEAN Management ↓

En esta parte queremos mostrar un enfoque más actualizado en el cual las TIC industriales que generan la I-4.0 no sólo no dificultan sino que, si son bien enfocadas, pueden convertirse en elementos habilitadores en la implementación de la metodología *LEAN*. La idea fundamental radica en focalizar la I-4.0 para contrarrestar las barreras de implementación existentes en *LEAN*.

Las barreras a la hora de implementar LM son variadas, pudiendo destacar por encima de todas la falta de compromiso de la dirección, y la falta de implicación y formación de los trabajadores como las más críticas (Upadhye, Deshmukh & Garg, 2016). No obstante, como se ha anticipado antes, si la digitalización de los procesos industriales está bien enfocada las barreras de implementación del LM pueden verse atenuadas.

Para empezar, las TIC facilitan la toma de datos mejorando la capacidad de análisis y toma de decisiones. De esta forma se ofrece un entorno más dinámico en la detección temprana de problemas, y se consigue una

mayor velocidad de reacción y eliminación de fuentes de pérdida de eficiencias.

Lo anterior puede generar mayor compromiso de la dirección en la implementación *LEAN*, ya que las TIC ponen a su servicio información en tiempo real (Houy, 2005), pudiendo centrar su esfuerzo en los aspectos que consideren más importantes, y encontrando una ventaja para mejorar la eficiencia de sus equipos. No olvidemos que, principalmente, la falta de compromiso de la dirección a la hora de implementar *LEAN* viene dada por no observar un mayor beneficio en dedicar su escaso tiempo a las herramientas implementadas en vez de a su rutina habitual de trabajo. Si somos capaces de aprovechar los entornos digitales para darle un mayor valor añadido a los métodos *LEAN*, será posible un mayor compromiso por parte de la dirección.

Otra de las ventajas es que se conseguirá una mayor interacción de los directivos con el proceso productivo (Houy, 2005) ya que, al disponer de más información y conocimiento, aumentará su implicación en los problemas de la línea, pudiendo emprender acciones de mejora más y mejor relacionadas con los problemas reales de las líneas de fabricación.

La implicación de los trabajadores también es fundamental para garantizar el éxito en la implementación LM (Adler, 1993; Wickens 1987; Parker 2003; Shadur *et al.* 1995; Vidal 2007). Con la I-4.0, el operario puede interactuar más con el sistema (Ward & Zhou, 2006), analizando datos y configurando máquinas sobre la marcha, reduciendo tiempos de ajuste gracias a la automatización. Se pueden mostrar KPIs en tiempo real, y actuar en consecuencia. En otras palabras, podemos pasar de simples ejecutores de tareas rutinarias a mano de obra de alto valor añadido.

El uso masivo de pizarras en *LEAN* es sin duda una de las mayores oportunidades de mejora que ofrecen los sistemas digitales. La cantidad de información impresa usada genera un desperdicio en sí misma, que es justo lo que los sistemas *LEAN* tratan de eliminar. La digitalización también mejorará la gestión del conocimiento. Las empresas *LEAN* por norma general tienen un mayor aprovechamiento del conocimiento de los empleados (Sharma & Pankaj, 2016). Además, integrando las TIC conseguiremos que las plataformas digitales potencien este factor, facilitando el acceso a la formación.

Finalmente, si hablamos de factores externos, la relación con los proveedores pasa por ser un elemento de vital importancia para el éxito de la implementación *LEAN* y su filosofía de JIT (*just-in-time*). La interconectividad que ofrecen las TIC ayuda sin duda a que esta relación mejore notablemente.

La digitalización del *LEAN* a través de la I-4.0 ↓

Tras lo comentado anteriormente, parece claro que la aportación de la I-4.0 hará que los métodos tradicionales del *LEAN* cambien hacia otros más digitales, buscando por un lado adaptarse a la futura revolución industrial

digital y, por otro, aprovechando estas tecnologías para mejorar y pulir sus herramientas. Se ha de ser capaz de transformar en ventaja lo que a priori era un punto de fricción, y es fundamental aplicar de forma correcta las TIC, ya que una misma herramienta puede tener resultados completamente distintos en función de cómo se implemente.

Las herramientas *LEAN* clásicas están avanzando hacia el terreno digital y tal vez sea éste un modelo que se adapta mejor al carácter occidental que el importado de Toyota. Con el caso práctico que veremos a continuación se ha querido ilustrar cómo los sistemas LM de una empresa están convergiendo hacia un modelo digitalizado, optimizando y mejorando las herramientas *LEAN* ya implementadas.

BLOQUE IV. CASO PRÁCTICO ↓

Introducción al caso práctico ↓

El caso práctico relata la transformación digital de los sistemas *LEAN* de la empresa Saint-Gobain Weber (SGW), multinacional francesa líder mundial en la fabricación de morteros industriales, y que cuenta con 10 centros productivos y 2 centros de distribución en España. Los datos presentados en este estudio se corresponden a la situación de la empresa entre los años 2014-2017. En esta empresa se contaba con una fuerte infraestructura en materia de automatización de procesos, y posteriormente se abordó la implementación del *Lean Management*. En los últimos años, y debido al despegue en las iniciativas de I-4.0, las herramientas *LEAN* implementadas han ido evolucionando hacia sistemas más digitales, lo que ha originado una mayor efectividad y eficacia de dichas herramientas.

Antes de abordar el caso práctico, donde se verán ejemplos concretos de herramientas *LEAN* digitalizadas mediante la implementación de la I-4.0, queremos reflexionar acerca de ciertas cuestiones prácticas que se han de tener en cuenta previamente a abordar proyectos de digitalización, ya que es de vital importancia que las TIC estén bien implementadas, porque de lo contrario las ventajas comentadas anteriormente no se obtendrán.

Revisando la bibliografía existente, se deduce que las empresas con *Lean Management* implementado son más capaces de abordar la digitalización de la I-4.0 con mayores garantías de éxito que las que no lo tienen (Ward & Zhou, 2006), debido sobre todo a los hábitos adquiridos en cuanto a estandarización y trabajo en equipo, que actuarán como elementos potenciadores a la hora de abordar proyectos de digitalización. Además, visto desde otro punto de vista, se puede deducir que empresas con *LEAN* obtendrán beneficios pese a no tener I-4.0, pero empresas 4.0 sin las bases de *LEAN*, sobre todo a nivel de estandarización y metodología, es probable que no obtengan los beneficios esperados (Ward & Zhou, 2006). Bajo nuestro punto de vista, es mejor empezar con las bases del *LEAN* antes de abordar

proyectos de digitalización de niveles superiores, pero sí que creemos oportuno que la base estructural de los sistemas digitales (infraestructura de la I-4.0) se implemente en paralelo, o incluso antes que la implementación *LEAN*. Se debería de trabajar en la base del templo (fig.1), pero antes de pasar a la fase de implementación de la I-4.0, sería mejor establecer la metodología *LEAN*.

Habría que tener en cuenta también la necesidad de establecer un mapa (*roadmap*) de implementación en el cual se integren herramientas *LEAN* con I-4.0, de manera que gradualmente se implemente todo el proyecto, pero con un enfoque *LEAN* en el uso de las TIC como requisito fundamental para obtener éxito en su implantación. En el caso práctico daremos consejos de cómo abordar su implementación por fases, acometiendo inversiones y trabajando en paralelo en la metodología *LEAN*.

Es fundamental además tener recursos internos durante todo el proyecto, capaces de orientar las herramientas a la estrategia y modelo de negocio de la empresa. Éste es un error habitual en los sistemas *LEAN* e I-4.0 liderados por consultores externos, sin el apoyo necesario de recursos internos empresa.

La flexibilidad a las modificaciones de los sistemas implementados es también fundamental (Brass *et al*, 2016). Si cada pequeño cambio requiere de peticiones a personal externo, y el operario no lo puede llevar a cabo, es sin duda una fuente potencial de fracaso. Es por tanto básico que las herramientas I-4.0 puedan ser modificables (inter-actuables) con los operarios para evitar esto.

La I-4.0 en Saint-Gobain Weber

SGW ha sido una empresa pionera en la automatización de los procesos industriales, habiendo abordado dichos proyectos desde hace casi 30 años. Dicho trabajo ha asentado las bases de lo que con posterioridad se ha denominado I-4.0, y que ha servido de plataforma para la digitalización de los procesos industriales en la actualidad. Volviendo de nuevo al templo que introdujimos en los apartados anteriores (fig.1), se ha trabajado en una base sólida que ha constituido la fase inicial de la I-4.0. Para ello, se entrevistó al responsable nacional de proyectos electrónicos con el fin de determinar las principales herramientas implementadas, entre las que están:

- Normalización: es fundamental, antes de abordar un proceso de automatización, establecer una pauta clara y bien definida en cuanto a la estandarización de los elementos a ser implementados en las distintas fábricas, ya que de lo contrario luego será casi imposible la integración de dichos sistemas. En el caso de SGW se optó por la compra centralizada y unificada de PLCs, sistemas de dosificación y resto de componentes electrónicos e informáticos (sensores, pantallas HMI, servidores, redes, etc.).

- Programación Interna. Además, en SGW se crearon nuevos programas electrónicos que comandan las líneas de fabricación, por lo que el control de la instalación es mayor, y mucho más fácil acometer modificaciones en el futuro. Éste es un punto clave en la I-4.0 ya que, si somos capaces de dominar la programación de la maquinaria implementada, será más sencilla la integración de las distintas herramientas que se adquieran en el futuro.
- Acceso remoto. Otra de los aspectos fundamentales es la accesibilidad a los distintos elementos de las líneas de producción de forma remota, pudiendo controlar, modificar y restaurar los sistemas que lo requieran sin necesidad del desplazamiento in-situ de los técnicos. En una industria conectada, éste factor constituye un elemento crítico para la mantenibilidad del sistema.

En la última década se ha ido trabajando en la siguiente etapa de la I-4.0, la conocida como fase de implementación (ver fig. 1), desarrollando sistemas capaces de extraer la información de la infraestructura establecida en la fase inicial; es decir, se han explotado las posibilidades que nos ha ofrecido el trabajo previo en materia de automatización y control de proceso. En esta ocasión se entrevistó además a distintos integrantes del equipo de ingeniería y tecnologías de la información, habiendo destacado las siguientes herramientas:

- Control centralizado de la línea mediante el uso de SCADAS (*software* de Supervisión, Control y Adquisición de Datos).
- Sistemas de recogida automática de datos de la línea (Historiadores), para posterior generación de partes de fabricación automática.
- Implementación de sistemas de Inteligencia de Negocio (*Business Intelligence*) para explotar la información obtenida y poder establecer un control remoto de los ratios de las fábricas.
- Integración del uso del video para el análisis de los procesos, a nivel de productividad y seguridad.
- Plataforma de formación *e-learning* para el conjunto de empleados de la empresa.
- Controles visuales en las líneas con alarmas ante funcionamientos anómalos.

En la actualidad se están empezando a desarrollar herramientas que se integrarían en la fase de expansión de la I-4.0, y que van sobre todo enfocadas a que los sistemas funcionen de forma autónoma, y que sean capaces de interactuar con su entorno. Podríamos destacar los siguientes ejemplos:

- Visión artificial aplicada al control de calidad del producto. Estos sistemas permiten discernir entre producto válido o no válido mediante la toma de fotografía y comparándolo con un patrón previamente definido.

- Reconfiguración automática de los parámetros de la línea en función de los datos medidos. El sistema es capaz de variar su funcionamiento si observa fallos, o si predice que va a ver uno.
- Uso de vehículos auto guiados (AGV) para la manipulación y transporte del producto acabado. Se está en fase de investigación para la implementación de estos sistemas, los cuales permitirían sustituir la mano de obra asociada a estas tareas.
- Dispositivos de realidad aumentada. Se está empezando a utilizar estos sistemas, sobre todo para mostrar a los clientes los futuros resultados derivados del uso de nuestros productos.

Herramientas LEAN digitales en Saint-Gobain Weber

SGW se inició en LEAN una vez finalizada la fase inicial (ver fig. 1) de la I-4.0, es decir, con la infraestructura ya creada, pero sin haber entrado todavía en la fase de implementación. El enfoque de implementación fue el tradicional, mediante el apoyo del departamento LEAN internacional y una consultora externa especialista. Las herramientas originalmente implementadas han ido convergiendo hacia otras con un mayor peso digital, aunque manteniendo la esencia inicial. Básicamente se ha perseguido aprovechar las nuevas tecnologías para modernizar las herramientas LEAN clásicas, sobre todo en lo relacionado con el apartado documental y de análisis, buscando atenuar las históricas barreras de implementación de LM, además de reducir el tiempo dedicado a cumplimentar documentos, y compartir y expandir las mejoras implementadas entre las distintas fábricas.

La tabla 1 muestra un resumen del contenido expuesto a continuación, en la que se enumeran las principales herramientas y/o actividades LEAN, y su digitalización a través del uso de la I-4.0. Nuestro objetivo no es el de profundizar en el contenido teórico de cada herramienta, sino más bien mostrar de qué manera la filosofía LEAN está evolucionando en empresas que, como SGW, tienen una fuerte digitalización del proceso productivo. Las herramientas son las siguientes:

- Hoja de control de producción (HCP). Se persigue con esta herramienta llevar un control de lo que se produce, relacionándolo con el TAKT time (tiempo medio entre el inicio de producción de una unidad de producto y el inicio de producción de la siguiente unidad), de cara a balancear la producción con la demanda, y detectar rápidamente desviaciones entre lo fabricado y lo planificado. A través de la I-4.0, se han introducido sistemas de recolección de datos que han permitido la ejecución de esa HCP de forma automática, haciendo la toma de datos más precisa y fiable, reduciendo el tiempo de reacción y permitiendo la exportación de los datos a otros sistemas para su posterior análisis.
- SMED (*Single-minute exchange of die*). Esta metodología permite la reducción de los tiempos

de cambio y preparación de las máquinas entre producto y producto. Es muy efectiva y está ampliamente implementada en SGW desde el inicio del programa LEAN. La digitalización del SMED empezó con la introducción de software específico para la realización del análisis, permitiendo la reducción de los tiempos de análisis, y exportando las rutinas de trabajo estandarizadas de forma automática. En la actualidad se está trabajando en el siguiente paso, que consiste en la generación de una nube donde se comparan las mejores prácticas de cada fábrica.

- Poka-Yoke. Por definición significa técnica a prueba de errores, y consiste en establecer un diseño que evite el fallo en un sistema. Hay numerosos ejemplos relacionados con esta técnica, y la I-4.0 está generando herramientas digitales capaces de detectar y corregir errores antes de que se produzcan, como por ejemplo los sistemas de visión artificial, que permiten analizar productos descartando los no válidos, incluso prediciendo fallos futuros y cambiando la configuración de la máquina en consecuencia.
- Instrucciones de trabajo, rutinas de trabajo estandarizado y auto-mantenimiento. Este apartado está centrado en el desglose de las tareas asociadas a un puesto de trabajo, destacando los puntos críticos y estableciendo en algunos casos el tiempo asociado a cada tarea. En SGW se está en proceso de introducir las rutinas de trabajo digitales, mediante el uso de un software específico, y seguimiento mediante dispositivos móviles (*tablets*) en el propio lugar de trabajo. De esta forma las rutinas de trabajo, mantenimiento o trabajo estandarizado se pueden consultar y supervisar digitalmente. Los cambios en las mismas se actualizan de forma inmediata, permitiendo generar una base de datos común para todas las plantas.
- 5S y gestión visual. Estas herramientas están orientadas a la creación de entornos de trabajo eficientes, ordenados y limpios. Al haber sido integradas en la I-4.0, la empresa cuenta con plataformas virtuales donde se comparte información entre fábricas, se hace seguimiento de los proyectos de implementación 5S y se generan estándares visuales de referencia.
- Gestión del Mantenimiento. Desde el punto de vista LEAN, la gestión del mantenimiento pasa por eliminar todas las pérdidas asociadas a los funcionamiento anómalos de los equipos originados por averías, generando un plan de mantenimiento que ataque todos los frentes. Mediante el uso de software de gestión del mantenimiento (GMAO), y la integración de las distintas fábricas en el mismo, se están pudiendo planificar las tareas y llevar a cabo un seguimiento de los KPIs fundamentales, tales como MTBF (*mean time between failure*), MTRR (*mean time to repair*), tasa de averías, etc. Ade-

TABLA 1
PRINCIPALES HERRAMIENTAS Y/O ACTIVIDADES LEAN, Y SU DIGITALIZACIÓN A TRAVÉS DEL USO DE LA I-4.0

Herramienta Lean	Digitalización con I-4.0	Ventaja Obtenida
Hoja control producción	Introducción de sistemas de recolección de datos que permitan la ejecución del parte de producción de forma automática.	Toma de datos más precisa y fiable, reduciendo el tiempo de reacción y permitiendo la exportación de los datos a otros sistemas para su análisis
SMED	Introducción de software específicos para la aplicación del método.	Reducción del tiempo de análisis, exportación de rutinas de trabajo estandarizadas, generación de mejores prácticas para compartir entre fábricas.
Poka yoke	Con herramientas digitales se están generando sistemas a prueba de errores. Por ejemplo la visión artificial ayuda a descartar productos anómalos de forma instantánea, evitando que lleguen al cliente final.	Mayores oportunidades a la hora de configurar los sistemas. Mayor adaptabilidad a cambios producto. Más velocidad, sin interrupción de flujo productivo.
Instrucciones de trabajo	Rutinas de trabajo digitales, mediante el uso de software y seguimiento con dispositivos móviles (tablets).	Permite que las rutinas de trabajo, mantenimiento o trabajo estandarizado, se puedan consultar y supervisar digitalmente. Los cambios en las mismas se actualizan de forma inmediata, permitiendo generar una base de datos común para las distintas plantas.
Automantenimiento		
Trabajo Estandarizado		
Gestión del Mantenimiento	Introducción de un GMAO para la gestión del mantenimiento en planta. Almacén de repuestos críticos común en todos los centros y control mediante código de barras.	Control de KPIs, planes de acción preventivos, correctivos y predictivos. Interconexión entre fábricas y proveedores.
5s	Creación de plataformas digitales para el lanzamiento de proyectos 5s, su seguimiento y posterior re-aplicación en otras áreas.	Mejores prácticas compartidas en fábricas y posibilidad de seguimiento remoto de proyectos 5S.
Evaluación de riesgos	Análisis de situaciones inseguras via vídeo, mediante dispositivos móviles y análisis in-situ.	Participación activa del equipo de trabajo, posibilidad de compartir entre centros. Vídeo aporta más información.
Matriz polivalencias	La formación e-learning	Formación a la carta, no planificada y con evaluación del rendimiento.
Tablones de seguimiento	Reducción de la masiva cantidad de información escrita y puesta en pizarras que históricamente genera la metodología LEAN. Las pizarras con KPI's y Planes de Acción digitales permiten la actualización inmediata y la reducción del tiempo necesario para tenerlas al día	Eliminación de uno de los mayores desperdicios de la metodología LEAN: el uso indiscriminado de papeles.
Pull system (kanban)	Introducción de sistemas MRP que permiten la optimización del proceso de planificación, reduciendo el control manual de stocks y permitiendo un mayor grado de eficiencia	Los sistemas Kanban se han mostrado eficaces en el pasado, pero generan controversia en la implementación actual del LEAN.
Gemba Walk	Control de KPIs de forma remota, mediante herramientas de gestión, que permiten focalizar el tiempo y esfuerzo de los responsables del centro, de cara a acudir a las partes de la línea cuando se necesita, donde se necesita y sabiendo lo que se necesita. Es un Gemba Walk 4.0.	Aumentar el grado de participación y compromiso de la Dirección, ya que permite el ahorro de tiempo y la detección prematura de problemas

Fuente: Elaboración propia

más, se está implementando un almacén virtual de repuestos críticos integrado en el *software* y gestionado con códigos de barras; de esta manera se dispone de un control de *stock* de repuestos con todas las fábricas interconectadas, y además se generan órdenes de pedido automáticas a los proveedores cuando el número de repuestos es menor de un límite determinado (kanban electrónico).

- Evaluación de Riesgos. En SGW, el paso cero de cualquier *Major Kaizen* (proyecto de mejora focalizada) pasa por hacer una evaluación inicial de riesgos asociados a la zona en cuestión. Se están implementado evaluaciones de riesgos vía vídeo, mediante el uso de *tablets*, en las que se integran los planes de acción y seguimiento, generando una base de datos común entre todas las fábricas.

La evaluación de riesgos vía vídeo se está erigiendo como una herramienta muy útil desde el punto de vista de la participación del personal en la mejora de la seguridad de las condiciones de trabajo.

- Matriz de polivalencias y plan de formación. Éste es sin duda uno de los pilares fundamentales de *Lean Manufacturing*, la formación y capacitación del personal, sobre todo en aquellas tareas críticas y encaminadas a la consecución de los objetivos propuestos. Con la digitalización a través del *e-learning*, se abre la puerta a que tanto el mapa de actividades diarias, como la matriz de polivalencias (capacitaciones) y el plan de formación, se generen de forma personalizada para cada integrante del equipo, pudiendo acceder cada uno de ellos libremente a través de la plataforma web. Es una formación a la carta, no planificada y con evaluación del rendimiento. Los contenidos específicos relacionados con *LEAN* cada vez son impartidos en mayor medida mediante el uso de plataformas virtuales o bien vía *Webex*, a través de formadores internos y/o externos, aumentando enormemente la flexibilidad y eficacia formativa.
- Tablones de implementación y seguimiento. En todo desarrollo *LEAN* hay una parte orientada a la gestión visual de las herramientas implementadas mediante el uso de tablones en los que se integra toda la documentación generada. Entendemos que es ciertamente útil en tanto en cuanto se genera una zona de interacción entre operarios y gestores para el análisis de problemas y el establecimiento de planes de acción, pero con mucha frecuencia se cae en el abuso de información y número de tablones, generándose finalmente un efecto contrario a la que queremos eliminar: un desperdicio.

Es habitual que los certificadores *LEAN* fundamenten su nota en base a la lógica observada en estos tablones, además evidentemente del estado visual de las instalaciones, lo cual genera en ocasiones un abuso en cuanto al montante de información impresa.

La I-4.0 y su digitalización, permite reducir el uso indiscriminado de papeles y generar pizarras con KPIs y planes de acción digitales, los cuales permiten además la actualización inmediata y la reducción del tiempo necesario para actualizarlos. En la actualidad se está empando a apostar más por las pizarras digitales, y la idea es que en unos años en SGW todas estén adaptadas al entorno digital.

- *Pull system (Kanban)*. A nivel conceptual el sistema *pull* establece que sea el mercado el que con su propio consumo «tire» de la fabricación, generando órdenes de pedido en base al consumo real que está habiendo. En la implantación *LEAN* clásica, éste sistema se implementaba mediante el uso de tarjetas *Kanban*, que se ubica-

ban físicamente en el stock e iban apareciendo conforme se consumía el material. La introducción de sistemas MRP que permiten la optimización del proceso de planificación, reduciendo el control manual de stocks y permitiendo un mayor grado de eficiencia y de interconexión con proveedores, choca en cierto modo con el uso de tarjetas *kanban*, y es en ocasiones objeto de controversia y debate entre los facilitadores *LEAN* y las empresas con MRP implantado, sobre todo porque, según ellos, los sistemas de gestión de stock establecen hipótesis de venta que en ocasiones no se cumplen. En SGW consideran que si se ejecuta bien y se integra en la I-4.0, el sistema MRP puede generar un modelo de gestión *pull* de alto nivel, sin tanta manualidad y con la posibilidad de la integración de clientes y proveedores en el sistema.

- *Gemba Walk*. Esta terminología se refiere a que para entender los problemas y detectar los desperdicios, hay que estar donde éstos ocurren, es decir, hay que bajar a la línea/almacén/proceso (*Gemba* en japonés), y ver de primera mano lo que está ocurriendo.

Con la digitalización promovida dentro de la I-4.0, se potencia el control de KPIs de forma remota, mediante herramientas de gestión y visualización de datos, que permiten focalizar el tiempo y esfuerzo de los responsables del centro, de cara a acudir a las partes de la línea cuando se necesita, donde se necesita y sabiendo lo que se necesita. Se podría considerar como un *Gemba Walk 4.0*, y lejos de alejar a los responsables de la realidad del proceso productivo, si se enfoca bien, puede contribuir a un aumento de su implicación y motivación, sobre todo porque disponen de información que permite detectar rápidamente situaciones anómalas, y actuar en consecuencia.

Como podemos ver, la digitalización de los sistemas *LEAN* contribuye de forma evidente a que las mejoras implementadas se puedan exportar de forma rápida y sencilla, obteniendo un impacto mucho mayor. Además, se reducen notablemente los tiempos de ejecución de la metodología, sobre todo a nivel de análisis y de generación de documentos, lo que en la mayoría de casos acaba por convertirse en un grave problema a la hora de, ya no de implementar inicialmente, sino de mantener el sistema *LEAN* actualizado. Con un enfoque digital, y sin perder de vista la esencia del LM, la I-4.0 ayuda a eliminar o atenuar algunas de las barreras históricas de implementación *LEAN*.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha analizado la interacción entre los mundos del *LEAN Management* y el de la I-4.0, y más concretamente la influencia de este último a modo de digitalización de las herramientas *LEAN* para una mejor

implementación de éstas. En primer lugar, se ha querido mostrar el estado del arte de la I-4.0, asunto en plena efervescencia y de futuro prometedor, planteando además un modelo de implementación por fases que a nuestro modo de ver puede servir de guía para las empresas interesadas.

Posteriormente se ha profundizado en la interacción LEAN-I-4.0, partiendo inicialmente del enfoque clásico, más dado a destacar las incompatibilidades entre ambos, para posteriormente abordar un enfoque más moderno, en el que la I-4.0 actúe como habilitador LEAN, enfocando sus herramientas digitales en la atenuación y/o eliminación de las barreras de implementación en LM.

Por último, se ha abordado el caso práctico de la empresa multinacional Saint-Gobain Weber, mostrando cómo han ido evolucionando una serie de herramientas LEAN hacia su digitalización, influenciadas por las TIC implementadas en la empresa y cómo han ido conformando las distintas fases implementadas dentro del proyecto I-4.0. Como se ha visto a través de este caso, si el enfoque digital es el adecuado, la interacción de ambos mundos es positiva y genera una sinergia en la cual ambos se ven potenciados

Este artículo y el caso práctico asociado muestran un ejemplo de éxito en la implementación de la metodología LEAN en entornos digitales. Además, puede servir de referencia a las empresas que quieran potenciar su nivel de *Lean Manufacturing*, adaptándolo a la era digital y haciendo que el tiempo invertido en dicha implementación sea más rentable y eficaz, tomando como referencia alguna de las herramientas que han sido descritas.

Aporta también una guía para empresas que estén interesadas en adentrarse en la I-4.0, mostrando la necesidad de planificar las acciones a llevar a cabo de forma escalonada e integrándolas en un *roadmap* previamente definido, y alineado con la estrategia de la empresa.

Una limitación del artículo podría venir a la hora de extrapolar o generalizar los resultados mostrados, por lo que es recomendable hacer un trabajo previo de planificación y adaptación a las necesidades reales de cada empresa. En futuros estudios se podría profundizar en estas cuestiones, analizando de forma empírica la influencia y significancia de la digitalización de los entornos LEAN a través de las herramientas aportadas por la I-4.0.

NOTAS

- [1] <http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/index.aspx#inicio>
- [2] <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>
- [3] <https://www.cesmi.org>
- [4] <http://www.iiconsortium.org/iiot-world-tour/index.htm>
- [5] <http://www.mise.gov.it/index.php/it/industria40>
- [6] <http://www.industrie-dufutur.org>

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, P. (1993). Time and motion study regained. *Harvard Business Review*, 71(1), 97-198.
- Brass, J., Aldewereld, H., Verburg, Q., Warnier, M., Janssen, M. (2016). *The Duality of Technology: ICT as an enabler and inhibitor in Business Process Improvement*. San Diego: Twenty-second Americas Conference on Information Systems.
- Drew, J., McCallum, B., Roggenhofer, S. (2004). *Objectif Lean*. France: Editions d'Organisation.
- Houy, T. (2005). ICT and Lean Management: Will They Ever Get Along?. *Communications & Strategies*, 59, 53-76.
- Krafcik, J.F. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan Management Review*, 30(1), 41-52.
- Lucey, J., Bateman, N., Hines, P. (2005). Why major lean transitions have not been sustained. *Management Service*, 49(2), 9-13.
- McKone, K.E., Schroeder, R.G., Cua, K.O. (2001). The impact of total productive maintenance on manufacturing performance. *Journal of Operations Management* 19 (1), 39-58.
- Moyano Fuentes, J., Martínez Jurado, P.J., Maqueira Marín, J.M., Bruque Cámara, S. (2012). El papel de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la búsqueda de la eficiencia: un análisis desde Lean Production y la integración electrónica de la cadena de suministro. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 15(3), 105-116.
- Ohno T. (1988). *Toyota Production System: beyond large-scale production*. New York: Productivity Press.
- Parker, S. (2003). Longitudinal effects of lean production on employee outcomes and the mediating role of work characteristics. *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 620-34.
- Pay R. (2008). *Everybody's jumping on the lean bandwagon, but many are being taken for a ride*. Industry Week. Available at: <http://www.industryweek.com/companies-amp-executives/everybodys-jumping-lean-bandwagon-many-are-being-taken-ride>
- Piszczalski, M. (2000). Lean vs. information systems. *Automotive Manufacturing and Production*, 112 (8), 26-28.
- Rüttimann, B.G., Stöckli, M.T. (2016). Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. *Journal of Service Science and Management*, 9(6), 485-500.
- Rüßmann M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M. (2016). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group.
- Shadur, M., Rodwell, J. and Bamber, G. (1995). Factors predicting employees' approval of lean production. *Human Relations*, 48(12), 1403-1426.
- Shah, R., Ward, P.T. (2002). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21 (2), 129-149.
- Sharma, S., Gandhi, P.J. (2016). Scope of Optimising I.C.T Objectives Applying Lean Principles: An Exploratory Review. *International Conference on ICT in Business Industry & Government*, 18-19 November 2016, Indore, India.
- Sugimori, Y., Kusunoki K., Cho, F., Uchikawa, S. (1977). Toyota Production System and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.
- Upadhye, N., Deshmukh, S.G., Garg, S. (2016) Lean manufacturing system implementation barriers: an interpretive

structural modelling approach. *International Journal of Lean Enterprise Research*, 2 (1), 46–65.

Vidal, M. (2007). Lean production, worker empowerment, and job satisfaction. *Critical Sociology*, 33, 247-78.

Ward, P., Zhou, H. (2006). Impact of Information Technology Integration and Lean/Just-In-Time Practices on Lead-Time Performance. *Decision Sciences*, 37 (2), 177-203.

Wickens, P. (1987). *The Road to Nissan*. London: Macmillan.

Womack, J.P. (2004). *Lean Information Management*. Lean Enterprise Institute. Available at: <https://www.lean.org/womack/DisplayObject.cfm?o=726>.

Womack, J.P., Jones, D.T. (1996). *Lean thinking*. New York: Simon & Schuster, Inc.

Womack, J.P., Jones, D.T., Roos, D. (1991). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. New York: Harper Perennial.