



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

**Estudio de las innovaciones en el Lean
Manufacturing a través de las tecnologías de
la Industria 4.0**

Autor:

Alonso Villafáfila, David

Tutor:

Sanz Angulo, Pedro

Departamento:

OECIM

Valladolid, Mayo 2019.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi tutor, Pedro, el tiempo empleado y todo lo que me ha enseñado en la redacción de este documento.

Agradecer a mi madre, a mi padre, a mi hermano y a toda mi familia la paciencia y el esfuerzo derrochado para hacer posible que haya llegado este punto, aunque haya habido épocas buenas y otras no tanto.

A mis amigos y amigas, tanto los que conocía antes de llegar a la Universidad, como los que he conocido durante mi época de estudio.

A todas las personas con las que he tenido alguna relación en la carrera, ya sean los compañeros o compañeras de clase con los que he trabajado o los profesores y profesoras que he conocido con el paso de los años y que me han guiado para aprender todo lo que sé a día de hoy.

Y, por supuesto, a Mónica, por su apoyo incondicional en cada momento, sobre todo en los peores, por ser mi compañera de equipo y porque espero que lo siga siendo toda la vida.

A todos ellos, Gracias.

Resumen

En la actualidad, casi todas las empresas utilizan herramientas de la filosofía Lean Manufacturing para conseguir que sus procesos productivos sean lo más eficientes posible, lo que hace que el Lean sea una herramienta imprescindible para mantener la competencia entre las empresas.

Sin embargo, el Lean Manufacturing utiliza herramientas muy antiguas, que con la llegada de la Industria 4.0 y las TIC pueden quedar obsoletas. Por eso, las organizaciones deben buscar como renovar dichas herramientas por medio de la tecnología para continuar siendo competentes en su ámbito.

Este documento muestra cómo se han agrupado ambos campos, es decir, el Lean Manufacturing y las nuevas tecnologías en las empresas de hoy en día para que estas puedan proseguir con su actividad siendo competitivas.

Palabras clave

Lean Manufacturing, Fabricación, Internet de las Cosas, Big Data, Industria 4.0.

Abstract

Nowadays, almost all companies use Lean manufacturing philosophy tools to make their production processes as efficient as possible, which makes the lean an essential tool to maintain the competition between companies.

However, Lean Manufacturing uses very old tools, which with the advent of Industry 4.0 and TIC can become obsolete. Therefore, organizations must seek to how renew these tools by means of technology to continue to be competent in their field.

This document shows how both fields have been grouped, Lean Manufacturing and new technologies in today's companies so that they can continue their activity by being competitive.

Keywords

Lean Manufacturing, Manufacturing, Internet of Things, Big Data, Industry 4.0.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<i>Antecedentes</i>	<i>1</i>
<i>Motivación</i>	<i>2</i>
<i>Objetivo y alcance.....</i>	<i>3</i>
<i>Estructura del proyecto.....</i>	<i>4</i>
CAPÍTULO 1. LEAN MANUFACTURING	7
1.1. <i>Definición y orígenes</i>	<i>7</i>
1.2. <i>Los pilares del Lean Manufacturing.....</i>	<i>8</i>
1.3. <i>Principios del Lean Manufacturing</i>	<i>11</i>
1.4. <i>Despilfarro.....</i>	<i>12</i>
1.5. <i>Herramientas Lean</i>	<i>19</i>
1.5.1. <i>Las 5S</i>	<i>19</i>
1.5.2. <i>Heijunka.....</i>	<i>25</i>
1.5.3. <i>Kanban.....</i>	<i>26</i>
1.5.4. <i>SMED</i>	<i>29</i>
1.5.5. <i>TPM (Mantenimiento Productivo Total).....</i>	<i>31</i>
1.5.6. <i>Jidoka.....</i>	<i>33</i>
CAPÍTULO 2. INTERNET DE LAS COSAS.....	35
2.1. <i>Definición y orígenes</i>	<i>35</i>
2.2. <i>La importancia del IoT</i>	<i>37</i>
2.3. <i>Características, ventajas, desventajas y dominios del IoT</i>	<i>39</i>
2.3.1. <i>Características</i>	<i>39</i>
2.3.2. <i>Ventajas y desventajas</i>	<i>40</i>
2.4. <i>Aplicaciones del IoT</i>	<i>42</i>
2.4.1. <i>Smart Cities (Ciudades inteligentes).....</i>	<i>43</i>
2.4.2. <i>Smart Energy y la Smart Grid (Energía y red inteligentes).....</i>	<i>44</i>

2.4.3.	Smart transportation and mobility (Transporte y movilidad inteligente)	46
2.4.4.	Smart Home, Smart Buildings and Infrastructure (Casa, edificios e infraestructuras inteligentes)	49
2.4.5.	Smart Factory and Smart Manufacturing (Fábrica y fabricación inteligentes).....	50
2.4.6.	Smart Health (Salud inteligente).....	51
2.4.7.	Seguridad y seguimiento del agua y los alimentos.....	52
2.4.8.	Detección participativa	53
2.4.9.	IoT y las redes sociales	54
 CAPÍTULO 3. EL BIG DATA Y LA FABRICACIÓN		57
3.1.	<i>Introducción</i>	57
3.2.	<i>Desafíos y beneficios del Big Data en la fabricación</i>	59
3.2.1.	Investigación, desarrollo y diseño de productos.....	61
3.2.2.	Cadena de suministro.....	62
3.2.3.	Producción	62
3.2.4.	Marketing y ventas.....	67
3.3.	<i>Mejora en los procesos productivos a través del Big Data</i>	68
 CAPÍTULO 4. LEAN MANUFACTURING E INDUSTRIA 4.0.....		77
4.1.	<i>El camino hacia la producción ajustada en la Industria 4.0</i>	77
4.2.	<i>Habilitación del Lean por Tecnologías de Industria 4.0</i>	79
4.3.	<i>Integración del Lean Manufacturing y la Industria 4.0</i>	82
4.3.1.	Factores del proveedor	83
4.3.2.	Factor del cliente.....	85
4.3.3.	Factores del proceso.....	86
4.3.4.	Control y factores humanos	88
4.4.	<i>Interdependencias entre la Industria 4.0 y los Sistemas de Producción Lean</i>	92
 CAPÍTULO 5. OTROS ASPECTOS A TENER EN CUENTA.		99
5.1.	<i>Un poco de vigilancia tecnológica</i>	99
5.2.	<i>Fabricación inteligente, fabricación habilitada para el IoT y fabricación en la nube</i>	104
5.1.	<i>Evaluación de sistemas de fabricación 4.0 bajo incertidumbre</i>	106
5.1.1.	Definición del alcance de la evaluación	109
5.1.2.	Criterios de selección y recopilación de datos	109
5.1.3.	Definición del modelo.....	110
5.1.4.	Ejecución del modelo.....	111
5.1.5.	Análisis de resultados	112
5.2.	<i>Tendencias de mejora de los procesos más importantes en los sistemas de fabricación</i>	113
5.2.1.	Aplicación de modelos de simulación.....	113
5.2.2.	Mejora del Método de Mapeo de Flujo de Valor	114
5.2.3.	Soluciones de nueva elaboración de logística inteligente.....	115

CONCLUSIONES	117
<i>Introducción.....</i>	<i>117</i>
<i>Conclusiones.....</i>	<i>117</i>
<i>Líneas futuras.....</i>	<i>121</i>
BIBLIOGRAFÍA.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1 <i>Kaizen</i>	9
Tabla 2. Despilfarro por exceso de almacenamiento	13
Tabla 3. Despilfarro por "sobreproducción"	14
Tabla 4. Despilfarro por "tiempo de espera" o "tiempo vacío"	14
Tabla 5. Despilfarro por "transporte" y "movimientos innecesarios"	15
Tabla 6. Despilfarros por defectos, rechazos y reprocesos	16
Tabla 7. Despilfarro por "sobrepceso"	17
Tabla 8. Despilfarro por exceso de inventario	18
Tabla 9. Las 10 etapas del <i>jidoka</i>	34
Tabla 10. Dominios, características y ejemplos	42
Tabla 11. Conexiones Lean-Industria 4.0.....	65
Tabla 12. Resumen de las dimensiones, retos y soluciones Lean.....	91
Tabla 13. Interdependencias entre el Lean y la Industria 4.0	94
Tabla 14. Estructura de los elementos de la Industria 4.0	96
Tabla 15. Resumen de los tipos de fabricación	107
Tabla 16. Pasos para la evaluación.....	108

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Lead Time.....	10
Ilustración 2. Símil del barco, despilfarro por exceso de stock	19
Ilustración 3 Implantación de las 5S.....	20
Ilustración 4 Ejemplo de una tarjeta roja (<i>seiri</i>)	21
Ilustración 5 Gráfico del <i>seiton</i>	22
Ilustración 6. Resumen de las 5S.....	25
Ilustración 7. Ejemplo de tarjeta <i>kanban</i>	27
Ilustración 8. Ejemplo de kanban de producción.....	27
Ilustración 9. Ejemplo de kanban de transporte.....	28
Ilustración 10. Funcionamiento del sistema <i>kanban</i>	28
Ilustración 11. Pilares del TPM	31
Ilustración 12. Evolución de los dispositivos conectados a internet por persona	37
Ilustración 13. Conversión de los datos en sabiduría.....	38
Ilustración 14. Dominios del IoT.....	41
Ilustración 15. Red de energía inteligente	45
Ilustración 16. Ejemplo del Internet of Energy	45
Ilustración 17. Comunicación por medio de IoT	48
Ilustración 18. Smart Home.....	49
Ilustración 19. Aplicación de una Smart Factory	50
Ilustración 20. Ejemplo de dispositivo de Smart Health	52
Ilustración 21. Ejemplo de realidad aumentada.....	64
Ilustración 22. Desperdicios industriales.....	66
Ilustración 23. Histograma para el análisis de los datos	70
Ilustración 24. Variabilidad del rendimiento del proceso.....	70
Ilustración 25. Distribución normal para el análisis	70
Ilustración 26. Redes neuronales para analizar parámetros de mejora	71
Ilustración 27. Etapas de fabricación aditiva.....	73
Ilustración 28. Monitorización de impresión 3D.....	74
Ilustración 29. Instalación con balizas.....	74
Ilustración 30. Máquinas de fabricación aditiva.....	75
Ilustración 31. Máquina de fabricación aditiva (II)	76
Ilustración 32. Cámara del sistema iBin.	80
Ilustración 33. Impacto de la Industria 4.0 en los proveedores	83

ÍNDICE

Ilustración 34. Impacto de la Industria 4.0 en los factores de proceso	86
Ilustración 35. Impacto de la Industria 4.0 en los factores de control y humanos	88
Ilustración 36. Evolución de los documentos relacionados con la fabricación inteligente	100
Ilustración 37. Publicadores de los documentos de la fabricación inteligente.....	100
Ilustración 38. Principales lugares donde se trabaja la fabricación inteligente.....	101
Ilustración 39. Tasa de riesgo de un impacto.	111
Ilustración 40. Flujo del método de mapeo	115

Introducción

El presente trabajo de fin de grado, centrado en analizar la “simbiosis” entre el Lean Manufacturing y las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0, tiene dos puntos de origen. Por un lado, el Lean Manufacturing despertó en mí un gran interés en asignaturas cursadas durante el grado como, por ejemplo, Dirección de Operaciones. Por otro lado, las Tecnologías de la Información y Comunicación han evolucionado drásticamente a lo largo de los últimos años, afectando a todos los ámbitos de nuestra vida, incluido el industrial. Por ese motivo resulta tan interesante conocer en qué grado tecnologías como el Internet de las Cosas, el Big Data, la simulación, el Deep Learning..., están afectando y alterando el desarrollo de la fabricación y, en particular, del Lean Manufacturing.

Antecedentes

En los dos últimos siglos, la humanidad ha sufrido tres grandes revoluciones industriales y tecnológicas. Estas tres revoluciones se caracterizaron por los cambios que sufrieron las fuentes de energía básicas de esa época, los cambios en las actividades que se realizaban en la industria, las localizaciones en los territorios y los medios de comunicación que existían para el transporte de mercancías, personas o información.

La primera revolución industrial surgió entre los años 1800 y 1900. En cuanto a transporte y comunicación se caracterizó por la invención del ferrocarril, el telégrafo y el teléfono. La fuente de energía que caracterizó esta revolución industrial fue el carbón, que permitía hacer funcionar la máquina de vapor, que se utilizó en las industrias metalúrgicas y de textil, situadas sobre todo en yacimientos y puertos. Los artesanos pasaron a ser obreros, y con ello se originó el movimiento obrero.

Entre los años 1900 y 1970 nació la segunda revolución industrial, que se caracterizó por la invención del coche, el avión, la radio y la televisión en el ámbito de los transportes y la comunicación. Las fuentes de energía que definieron esta revolución fueron el petróleo y la electricidad, utilizados en el motor de explosión, en la industria química, en la producción de automóviles, en la siderurgia o en la producción de aparatos eléctricos. Las industrias se situaron en torno a grandes ciudades, los obreros estaban más cualificados y nacieron los sindicatos.

De 1970 a 2007 surgió la tercera revolución industrial caracterizada por la aparición del tren de alta velocidad, los vehículos alimentados por biocarburantes y energía eléctrica, la comunicación por satélite e internet, en cuanto a transportes y comunicación. Se utilizaron sobre todo la energía nuclear, el petróleo y aparecieron las energías renovables. Surgieron las industrias de la microelectrónica, la informática y la biotecnología y en cuanto a los trabajos pasaron a ser más técnicos y flexibles y, a su vez, más precarios.

Desde el año 2008 a la actualidad estamos viviendo la cuarta revolución industrial, la que se conoce como Industria 4.0 en la que las nuevas tecnologías digitales han tenido un fortísimo impacto. Gracias a estas tecnologías y a la comunicación a través de internet, los humanos hemos sido capaces de dotar de este componente a objetos, máquinas, industrias..., que es lo que conocemos como Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*).

En el trabajo analizaremos cómo han evolucionado las herramientas del Lean Manufacturing con la llegada de la Industria 4.0 y las grandes asociaciones de datos. Para ello aparecen algunas aplicaciones que han surgido gracias a la Industria 4.0 y al IoT, renovando las que ya existían en las industrias convencionales.

Motivación

La filosofía Lean ha estado muy presente en las mejoras de los procesos productivos de las industrias desde que nació. A las empresas les ha surgido la necesidad de aplicar esta metodología debido a los grandes avances que suponía en cuanto a la disminución de despilfarros, lo que supone también una disminución de los costes y un aumento del beneficio de la firma, pero sobre todo solucionar los problemas que surgen en la producción.

Esta filosofía ha ido incorporándose a todo tipo de empresas con el transcurso de los años, lo que las hace ser más competitivas. Con el paso de los años, a las empresas les surgen problemas de innovación en las herramientas Lean aplicadas, es decir, algunas de ellas van quedando obsoletas o anticuadas, lo que hace que su aplicación no sea la correcta y surjan nuevos problemas en ella.

Para la solución de estos problemas, es imprescindible que las herramientas Lean se apliquen justo en los momentos necesarios y su aplicación se realice de forma correcta. Por ello, las herramientas Lean, fundamentales para la empresa, también han evolucionado con el paso de los años, y gracias a la Industria 4.0 y al IoT, se ha conseguido que las soluciones de los problemas y las mejoras lleguen a estar completamente automatizadas.

La combinación de ambos, las herramientas Lean y el Internet de las Cosas, ha desarrollado numerosos beneficios para las empresas en los últimos años. Se han desarrollado numerosas aplicaciones basadas en la Industria 4.0 que mejoran los sistemas productivos en los que se aplica el Lean Manufacturing.

He elegido estas aplicaciones de la Industria 4.0 a las herramientas del Lean manufacturing debido a que me parece un punto fundamental para que una industria funcione correctamente. Sin la aplicación de esta filosofía y su evolución gracias a la tecnología, muchas de las grandes empresas habrían desaparecido debido a que sus sistemas productivos hubiesen quedado obsoletos.

Objetivo y alcance

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es conocer como las industrias han ido renovando las herramientas Lean gracias a la llegada de las TIC, lo que les ha permitido a las empresas continuar con sus estrategias hasta la actualidad. Para ello, en primer lugar, daremos a conocer las principales herramientas Lean y las principales herramientas relacionadas con las TIC como son el IoT o el Big Data.

Una vez introducidos estos conceptos, tendremos en cuenta cómo se lleva a cabo la integración de ambas en la industria actual, lo que permite conocer cómo se investiga en este campo o las interdependencias que se generan entre estos tipos de herramientas. Por último, se evaluarán los sistemas conocidos en los lugares donde más se emplean en el planeta y se explicarán las tendencias de mejora de los procesos estudiados más importantes.

Para conocer bien el funcionamiento de las herramientas es necesario explicarlas en profundidad con anterioridad y así saber cuáles son más relevantes para los puntos clave de las industrias. El fin es mejorar los sistemas productivos de las empresas a través de la adquisición de grandes volúmenes de datos generados en estos procesos.

Para esta mejora juega un papel fundamental el IoT. Todos los aparatos conectados a internet, ya sean los artículos que se fabrican, las máquinas, las líneas de producción, etc., generan grandes cantidades de datos que son las que aportan los resultados de los procesos a las empresas, es decir, son la base para mejorar los sistemas productivos a través de los datos generados.

Estructura del proyecto

La memoria del proyecto trata de recoger el trabajo de investigación realizado durante meses para la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Se pretende que quede claro lo que es el Lean Manufacturing y sus herramientas más importantes, así como los nuevos avances tecnológicos que están posibilitando la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas, el Big Data, ..., para conocer cómo se ha adaptado el Lean a los nuevos tiempos a través de estas otras herramientas.

Para ello, la presente memoria se ha dividido en 5 capítulos, además de la introducción, las conclusiones y la bibliografía de los documentos utilizados. En los siguientes párrafos mostraremos de forma resumida las partes que componen el trabajo y lo que trata cada una de ellas.

Este documento comienza con una breve *introducción*, que sirve como referencia al tema principal del Trabajo de Fin de Grado. En ella se justifica la realización del trabajo, se presenta el objetivo a alcanzar y la estructura que se ha seguido para la realización del trabajo, resumiendo brevemente cada apartado.

A continuación, vienen dos capítulos que permiten contextualizar el trabajo realizado. En el primero, llamado *Lean Manufacturing*, nos encontramos con una introducción a esta filosofía: sus orígenes, sus principales objetivos, así como un resumen de las principales herramientas que lo componen.

En el segundo capítulo, *Internet de las Cosas*, se investiga cómo surgió este concepto, sus orígenes, y cómo ha evolucionado hasta la actualidad. Nos encontramos también un análisis de sus características más importantes, y una serie de aplicaciones donde está claramente visible este concepto.

Los tres siguientes capítulos constituyen la parte práctica de la memoria. En concreto, el tercer capítulo, titulado *El Big Data y la Fabricación*, se centra en los desafíos que tiene el Big Data dentro de la industria y las mejoras que puede proponer en los procesos productivos, prestando especial atención en el ámbito del Lean.

A continuación, en el capítulo *Lean Manufacturing e Industria 4.0*, se trata el camino que ha seguido la producción ajustada y la fabricación con la llegada de la Industria 4.0. También la forma en la que se ha habilitado el Lean a través de las tecnologías de esta

industria, con la aparición de las SmartFactory, y cómo se han integrado estos conceptos entre sí, además de sus interdependencias.

En el quinto y último capítulo, *Otros aspectos a tener en cuenta*, se comienza con un breve estudio de vigilancia tecnológica en relación a los países donde más se ha desarrollado el objetivo del trabajo. A continuación, se describen tres tipos de fabricación que se han generado gracias a la Industria 4.0 y, por último, se presenta una metodología de evaluación de estos sistemas de fabricación bajo incertidumbre y se exponen las tendencias de mejora más importantes de los procesos de fabricación.

Tras la investigación realizada para la realización de los capítulos anteriores, se extraerán una serie de conclusiones sobre los temas tratados en el TFG. También se esbozan unas líneas futuras de trabajo que ayuden a continuar la labor desarrollada hasta el momento.

Capítulo 1. Lean Manufacturing

1.1. Definición y orígenes

Entendemos por *Lean Manufacturing*, en castellano “producción ajustada”, a “la persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación del desperdicio, entendiendo como desperdicio o despilfarro todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por cuales el cliente no está dispuesto a pagar.” (Rajadell y Sánchez, 2010).

Lean Manufacturing es “una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios.” (Hernández & Vizán, 2013).

Este tipo de mejora también se conoce con el nombre de Sistema Productivo Toyota (TPS, *Toyota Production Systems*), y es considerado como una colección de herramientas desarrolladas principalmente en Japón. Los pilares fundamentales del *Lean Manufacturing* son: la filosofía de la mejora continua, el control de calidad, la eliminación de despilfarros, el aprovechamiento de todo el potencial a lo largo de la cadena de valor y la participación de los operarios.

Los orígenes de la producción ajustada, o de la organización de la producción, se encuentran a principios del siglo XX gracias a los trabajos realizados por Taylor y Henry Ford, quienes se dedicaron a formalizar y metodificar los conceptos de los sistemas de fabricación y producción.

Taylor fue el encargado de introducir el método científico a procesos consiguiendo así las bases de la organización en la producción, mientras que Ford fue quien instaló las primeras cadenas de producción en la fabricación de automóviles, que luego se han utilizado para todo tipo de industria.

A mediados del siglo XX, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, que eran dos ingenieros japoneses de Toyota, se fijaron en los sistemas de producción que utilizaban las factorías norteamericanas, ya que estas eran una referencia mundial, sobre todo en automoción, dándose cuenta de que no era posible implantar ese modelo en Japón y que en un futuro los automóviles serían pequeños y de bajo coste.

Ohno, después de reflexionar sobre lo que había conocido, establece las bases de lo que en el futuro será un nuevo sistema de gestión conocido como JIT (*Just in Time*, Justo a tiempo), también conocido como TPS. Esta filosofía se basa en producir solamente lo que el cliente demanda y cuando el cliente desee.

En sus principios, el JIT se complementó con la reducción de tiempos en el cambio de herramienta, lo cual se conoce como SMED, y otro tipo de técnicas como el sistema Kanban, Jidoka o Poka-Joke, lo que hizo que el sistema de producción de Toyota se fuese enriqueciendo.

1.2. Los pilares del Lean Manufacturing

El *primero de los pilares* del Lean es el **Kaizen**, que puede traducirse al castellano como “cambio para mejorar”, es decir, es lo que conocemos como mejora continua. Está compuesto por tres factores esenciales (Hernández & Vizán, 2013): la percepción o descubrir los problemas, el desarrollo de las ideas o encontrar las mejores soluciones, y la toma de decisiones, es decir, implantar las ideas y comprobar su resultado para elegir la más acorde y llevarla a la práctica.

En la mejora continua podemos distinguir dos tipos de desarrollos diferentes: los pequeños avances con gran cantidad de mejoras y los grandes avances debidos a innovaciones en las organizaciones o tecnologías, los cuales suponen una inversión económica.

El kaizen es el término con el que nos referimos a los pequeños avances y en él se implican todos los miembros de una empresa. La **Tabla. 1** muestra las características principales de esta filosofía.

Tabla. 1 Kaizen

Adaptado de (Rajadell & Sánchez, 2010).

<i>Kaizen</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Puede y debe implicar a todo el personal
<ul style="list-style-type: none"> • Se hace el mantenimiento de lo que se tiene y se mejora con un know-how convencional
<ul style="list-style-type: none"> • Orientación centrada totalmente sobre el personal
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere el reconocimiento de los esfuerzos incluso antes de los resultados
<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene con la utilización de herramientas de calidad y el ciclo PDCA (ciclo de Deming)

Según el ingeniero de Toyota precursor del Lean, los operarios de una línea de producción son los más interesados en la organización de su puesto de trabajo, y al ser quienes están más cerca de la producción, también son quienes identifican mejor los problemas y en muchos casos las mejores soluciones. Todo ello les hace tener gran peso en los procesos de mejora continua porque son los más conocedores del funcionamiento de las líneas.

Para la implantación del *kaizen* se realizan grupos de trabajo formados por operarios, técnicos y supervisores, para así poder desarrollar e implantar ideas dentro de una misma área de trabajo. Dentro de estos equipos de trabajo se desarrollan ciclos PDCA donde se valoran los puntos más débiles, se analizan, se proponen mejoras y, por último, se prueban y se implantan.

Se podría decir que la práctica del *kaizen* es como un juego de niños, donde la asistencia es obligatoria, cada persona que quiera aportar algo vocalmente deberá esperar a su turno de palabra levantando la mano, se requiere una mentalidad positiva, se deben evitar conversaciones al margen del tema a tratar, se respetan las opiniones de los compañeros y se trata de pasárselo bien durante la reunión.

El *segundo pilar* sobre el que se sustenta el Lean es el **control de la calidad**. Todos los departamentos de cualquier empresa deben estar comprometidos con el control de la calidad, debido a que la responsabilidad de la calidad está dividida entre todos los niveles dentro de una empresa. Dentro del control de la calidad podemos distinguir tres características básicas:

- El fin del control de calidad durante la fabricación es la reducción de los costes de producción y de los defectos, lo que asegurará bajos costes para el cliente y

gran rentabilidad para la empresa. Por ello, todos los departamentos de la empresa intervienen en el control de la calidad.

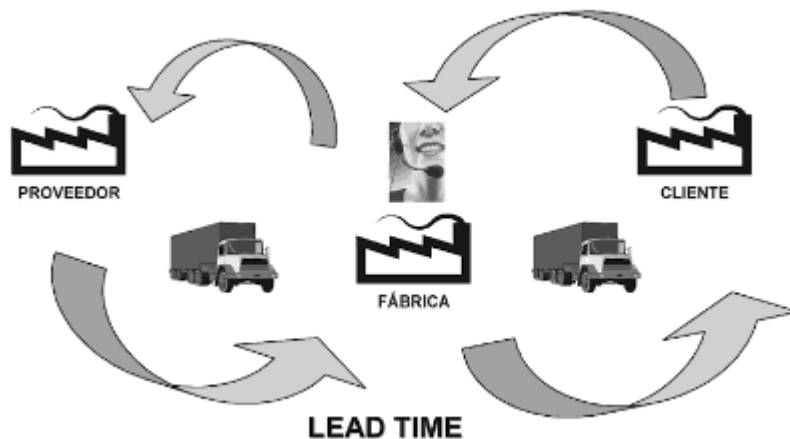
- A parte de los empleados de la empresa, también participa en el control de calidad cualquiera que esté relacionado con ella como los proveedores, los distribuidores, los clientes, etc.
- El control de calidad también forma parte de otras muchas funciones de la empresa.

Por último, encontramos el **Just in Time**. Taiichi Ohno fue quien desarrolló la idea del sistema de producción *Just in Time*, que tenía como principal objetivo reducir costes y eliminar despilfarros. El JIT pretende elaborar los artículos necesarios en las cantidades requeridas y en el instante exacto, es decir, pretende servir al cliente los artículos que el cliente quiere exactamente, justo en ese instante y en la cantidad solicitada.

Existe en este método de fabricación un periodo de entrega que es el tiempo que pasa desde que el cliente solicita el producto hasta que lo tiene en posesión. A este tiempo se le conoce como *lead time* (plazo de entrega) representado en la **Ilustración 1**. Por tanto, el cliente tiene que contar con este tiempo para proyectar sus compras; por ello, cuanto menor sea el plazo de entrega, mayor será la satisfacción del cliente.

Ilustración 1. Lead Time

Fuente (Rajadell & Sánchez, 2010)



También hay que tener en cuenta el tiempo de flujo, que es el que transcurre desde que se ordena producir hasta que el artículo está completamente manufacturado. Cuando este tiempo de flujo es menor que el plazo de entrega, es cuando se puede decir que la empresa puede fabricar contra pedido. Por el contrario, si el plazo de entrega es menor que el tiempo de flujo, se fabricará contra stock. Esto quiere decir que la fábrica debe tener a su disposición productos terminados o en curso.

1.3. Principios del Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing se divide en dos grandes puntos de vista en cuanto a sus principios se refiere, debido a dos factores principales: el humano y el operacional. Desde el punto de vista del *factor humano* y la manera que este tiene de pensar, sus principios son:

- Trabajar en planta y comprobar las cosas in-situ.
- Formar líderes de equipos que asuman el sistema y lo enseñen a otros.
- Interiorizar la cultura de “parar la línea”.
- Crear una organización que aprenda mediante la reflexión constante y la mejora continua.
- Desarrollar personas involucradas que sigan la filosofía de la empresa.
- Respetar a la red de suministradores y colaboradores, ayudándoles y proponiéndoles retos.
- Identificar y eliminar funciones y procesos que no son necesarios.
- Promover equipos y personas multidisciplinares.
- Descentralizar la toma de decisiones.
- Integrar funciones y sistemas de información.
- Obtener el compromiso total de la dirección con el modelo Lean.

Desde el punto de vista del *factor operacional* encontramos los siguientes principios:

- Identificar y eliminar funciones y procesos innecesarios.
- Crear un flujo de proceso continuo que visualice los problemas en la superficie.
- Utilizar sistemas en los que la demanda tire de la producción (sistemas “Pull”) para evitar la sobreproducción.
- Nivelar la carga de trabajo para equilibrar las líneas de producción.
- Estandarizar las tareas para poder implementar la mejora continua.
- Utilizar el control visual para la detección de problemas.
- Eliminar inventarios a través de las diferentes técnicas JIT.
- Reducir los ciclos de fabricación y diseño.
- Conseguir la eliminación de defectos.

Para conocer y evaluar la eficiencia y la productividad que se logra al aplicar estos principios y, en consecuencia, de la aplicación del Lean Manufacturing, se emplean los conceptos de “valor añadido” y “despilfarro”.

Conforme con lo señalado anteriormente, toda actividad de Lean tiene por objetivo aportar un valor añadido al producto por el que los clientes están dispuestos a pagar. En el caso de que suceda lo contrario y el cliente no esté dispuesto a pagar, se tratará de un despilfarro. También se añaden procesos que están relacionados indirectamente con el

producto pero que sin ellos no sería posible el producto final; es decir, que aunque no generen un valor añadido, son necesarios y, por tanto, no pueden ser eliminados.

Por ello, en un entorno donde se aplique el Lean, es necesario eliminar los desperdicios que se tienen. Para la eliminación sistemática de estos se realizan tres pasos fundamentales, mediante los cuales se elimina aquello que no es productivo, que es inútil o no aporte valor añadido al producto (Hernández & Vizán, 2013):

1. Se debe reconocer el desperdicio y el valor añadido dentro de cada proceso.
2. Se debe actuar aplicando la técnica Lean más adecuada para eliminar el desperdicio.
3. Se estandariza el trabajo con mayor carga de valor añadido para volver a iniciar el ciclo de mejora.

1.4. Despilfarro

Como ya habíamos descrito antes, un despilfarro o desperdicio es todo aquello que no aporte valor al producto o que no sea estrictamente esencial para fabricarlo. Hay que distinguir una serie de actividades necesarias para el sistema pero que no le aportan valor añadido al producto final y tienen que ser asumidas (Hernández & Vizán, 2013).

En el entorno Lean, tenemos una herramienta denominada *hoshin* (brújula) que se utiliza para eliminar de forma sistemática los despilfarros o desperdicios, y todo aquello que no aporte valor añadido al producto final. El *hoshin* se realiza a través de tres pasos:

- Se reconoce el desperdicio y el valor añadido dentro de un proceso.
- Se actúa aplicando la herramienta Lean más adecuada para eliminar el desperdicio o despilfarro.
- Se estandariza el trabajo con mayor valor añadido para volver a iniciar el ciclo de mejora con más facilidad.

Lo que se pretende principalmente con el *hoshin* es la búsqueda de la mejor solución que se pueda aplicar inmediatamente para los problemas encontrados. Esta solución la tiene que buscar todo el equipo de trabajo en común, desde los operarios hasta la dirección, y así será más fácil que la operación sea exitosa.

Una de las formas de actuar más sencillas es mediante la identificación de cada tipo de despilfarro que podemos encontrar: por exceso de almacenamiento, por sobreproducción, por “*tiempo de espera*” o “*tiempo vacío*”, por “*transporte*” o “*movimientos innecesarios*”, por defectos, rechazos y reprocesos, por “*sobreproceso*” y por exceso de inventario.

1.4.1. *Despilfarro por exceso de almacenamiento*

Surgen como resultado de tener mayor número de existencias que las necesarias para satisfacer las necesidades. Este despilfarro se da cuando se acumula material antes o después del proceso, es decir, cuando no se tiene un flujo continuo en el proceso de producción. Sus principales características y posibles causas se encuentran descritas en la **Tabla 2** (Hernández & Vizán, 2013).

Tabla 2. Despilfarro por exceso de almacenamiento

Características:	Excesivo espacio del almacén Contenedores o cajas demasiado grandes Poca rotación de existencias Elevados costes de almacén Demasiados medios de manipulación como carretillas, transpaletas, ...
Posibles causas:	Poca capacidad en los procesos Existen cuellos de botella no identificados Tiempos muy largos de cambios de máquina o de preparación de trabajos Previsiones de venta erróneas Reprocesos por defectos de calidad del producto Sobreproducción Problemas ocultos
Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:	Nivelar la producción Realizar fabricación en células, es decir, distribuir los productos en secciones específicas Sistemas JIT de entregas a proveedores Monitorizar tareas intermedias Cambiar la mentalidad en cuanto a la organización y la gestión de la producción

1.4.2. *Despilfarro por “sobreproducción”*

Este tipo de despilfarro, que se encuentra descrito en la **Tabla 3**, se produce cuando se ha fabricado más cantidad de la requerida o se ha invertido en equipos que poseen más capacidad de la necesaria. Cuando se produce sobreproducción parece que todo funciona correctamente aunque no es así, ya que en los excesos de producción también se pierde tiempo y, además, se consume una cantidad de material innecesaria (Hernández & Vizán, 2013).

Tabla 3. Despilfarro por "sobreproducción"

Características:	Gran cantidad de stock
	No existe plan para eliminar los problemas de calidad
Posibles causas:	Los equipos están sobredimensionados
	Tamaños de lotes de fabricación grandes
	No hay equilibrio en la producción
	Equipos obsoletos
	Se necesita mucho espacio de almacenaje
	Procesos no capaces y poco fiables
	Poca aplicación de la automatización
Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:	Tiempos de cambio de herramienta y preparación del trabajo elevados
	No hay respuesta a las demandas, pero si a las previsiones
	Falta de comunicación
	Flujo pieza a pieza, es decir, lotes unitarios de producción
	Implementación de sistemas <i>pull</i> mediante <i>kanban</i>
	Reducir tiempos de preparación mediante SMED
Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:	Nivelar la producción
	Estandarizar las operaciones

1.4.3. Despilfarro por "tiempo de espera" o "tiempo vacío"

Este tipo de despilfarro aparece en los sistemas de producción cuando se da un proceso o una secuencia de trabajo ineficiente y está descrito en la **Tabla 4**. Esto se puede traducir en el trabajo de los operarios cuando unos están saturados de trabajo y otros están parados. Lo idóneo sería la eliminación de este tipo de tiempos después de un estudio de los mismos (Hernández & Vizán, 2013).

Tabla 4. Despilfarro por "tiempo de espera" o "tiempo vacío"

Características:	El operario espera a que la máquina acabe
	Se producen colas excesivas de material dentro de un proceso
	Se producen paradas no planificadas
	Se necesitan tiempos para ejecutar otras tareas indirectas
	Tiempos para ejecutar reprocesos
	Las máquinas tienen que esperar a que los operarios finalicen las tareas pendientes
	Un operario espera a otro u otros operarios

	<p>Posibles causas: Los métodos de trabajo no están estandarizados</p> <p>Se produce <i>layout</i> deficiente por acumulación o dispersión de procesos</p> <p>Aparecen desequilibrios de capacidad</p> <p>No hay maquinaria apropiada</p> <p>Determinadas operaciones se retrasan por la omisión de materiales o piezas</p> <p>Se producen grandes lotes</p> <p>Existe escasa coordinación entre los operarios</p> <p>Tiempos de preparación de la maquinaria o cambios en el utillaje muy grande</p>
<p>Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:</p>	<p>Equilibrar la línea para nivelar la producción.</p> <p><i>Layout</i> específico de producto. Fabricación en células en U</p> <p>Automatizar con un toque humano, o lo que es lo mismo, Jidoka</p> <p>Cambio rápido de técnicas y de herramientas, es decir, SMED</p> <p>Operarios polivalentes</p> <p>Mejorar los suministros a las líneas de acuerdo con las secuencias de montaje</p>

1.4.4. Despilfarro por “transporte” y “movimientos innecesarios”

Este tipo de desperdicios, cuyas características y posibles causas se encuentran en la **Tabla 5**, se producen por movimientos o manipulaciones de material innecesario. Por ello, las máquinas y líneas de producción deberían estar lo más cerca posible y los materiales fluir de unos lugares a otros sin formar colas de inventario. Para lograrlo es necesario optimizar la posición de las máquinas y los trayectos de los materiales, evitando que estos sean dañados (Hernández & Vizán, 2013).

Tabla 5. Despilfarro por "transporte" y "movimientos innecesarios"

<p>Características:</p>	<p>Los contenedores son demasiado grandes, pesados o difíciles de manipular</p> <p>Existe exceso de movimiento en las operaciones con los materiales</p> <p>Hay demasiada circulación de los equipos de manutención por planta</p>
--------------------------------	--

Posibles causas:	<p>Layout obsoleto</p> <p>Tamaño de lotes muy grande</p> <p>Procesos poco flexibles y deficientes</p> <p>Programas de producción no uniformes</p> <p>Tiempos de preparación elevados</p> <p>Eficiencia baja de los operarios</p> <p>Muchos almacenamientos intermedios</p> <p>Frecuentes reprocesos</p>
Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:	<p><i>Layout</i> del equipo basado en células de fabricación flexibles</p> <p>Cambio gradual a la producción en flujo según tiempo de ciclo fijado</p> <p>Los trabajadores han de ser polivalentes</p> <p>Reordenar y ajustar las instalaciones para facilitar los movimientos y desplazamientos de dichos trabajadores</p>

1.4.5. *Despilfarros por defectos, rechazos y reprocesos*

Este tipo de despilfarros es uno de los que más se aceptan en las industrias aunque, como todos, conlleva una gran pérdida de productividad, ya que ocurre como resultado de no haber ejecutado bien el proceso la primera vez. Para evitar dichos despilfarros se debería hacer un control de calidad a tiempo real, para detectar inmediatamente los errores que se están produciendo, además de que los procesos productivos deberían estar diseñados a prueba de errores para así conseguir en el producto final la calidad adecuada. Las características y causas de estos despilfarros, y las acciones para evitarlos se encuentran en la **Tabla 6** (Hernández & Vizán, 2013).

Tabla 6. Despilfarros por defectos, rechazos y reprocesos

Características:	<p>Se pierde tiempo, recursos materiales y dinero</p> <p>Planificación inconsistente</p> <p>La calidad es cuestionable</p> <p>Flujo de proceso complejo</p> <p>Recursos humanos necesarios para inspecciones y reprocesos</p> <p>Espacios y técnicas adicionales para el reproceso</p> <p>Máquinas poco fiables</p> <p>Escasa motivación de los operarios</p>
-------------------------	---

<p>Posibles causas:</p>	<p>Se producen movimientos innecesarios</p> <p>Los proveedores o procesos no son capaces</p> <p>Se producen errores de los operarios</p> <p>Los empleados tienen una formación o experiencia inadecuada</p> <p>Se utilizan técnicas o herramientas que no son apropiadas</p> <p>Deficientes procesos productivos o mal diseñados</p>
<p>Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:</p>	<p>Automatizar con un toque humano, es decir, aplicar el Jidoka</p> <p>Estandarizar las operaciones</p> <p>Implantar señales de alarma y elementos de aviso</p> <p>Implantar sistemas anti-error, o lo que es lo mismos, poka-yoke</p> <p>Utilizar maquinaria más fiable</p> <p>Realizar mantenimientos preventivos</p> <p>Asegurar la calidad en los puestos</p> <p>Producir en flujo continuo para poder así eliminar manipulaciones innecesarias en las piezas de trabajo</p> <p>Controlar visualmente los procesos mediante kanban, 5S, ...</p> <p>Mejorar el entorno del proceso productivo</p>

1.4.6. *Despilfarro por “sobrepceso”*

Se produce este tipo de despilfarro cuando se impone al producto mayor valor añadido del esperado por el cliente, es decir, se impone al producto a procesos que no son útiles y no están valorados por el cliente. Sus características, acciones preventivas y causas se pueden encontrar descritas en la **Tabla 7** (Rajadell & Sánchez, 2010).

Tabla 7. Despilfarro por "sobrepceso"

<p>Características:</p>	<p>Las mejores técnicas no están estandarizadas</p> <p>Las máquinas están mal diseñadas o tienen una incorrecta capacidad</p> <p>Se producen procesos y aprobaciones redundantes</p> <p>Hay excesiva información que, además, es inutilizada</p> <p>No existen especificaciones ni ejemplos claros</p>
<p>Posibles causas:</p>	<p>Se producen cambios en la ingeniería sin cambios en el proceso</p> <p>Existen tomas de decisiones a niveles inapropiados</p> <p>Existen procedimientos que no son efectivos</p> <p>Se produce una falta de información a los clientes con respecto a los requerimientos del proceso productivo</p>

Acciones Lean para evitar este tipo de despilfarros:	<p>Realizar diseños de los procesos más apropiados mediante la implantación de un flujo continuo de una unidad cada vez</p> <p>Analizar y revisar más detalladamente las operaciones y los procesos productivos</p> <p>Mejorar las plantillas utilizando la automatización humana</p> <p>Estandarización de los procesos</p>
---	--

1.4.7. *Despilfarro por exceso de inventario*

Los despilfarros por exceso de inventario se producen en fábricas conocidas como fábricas enfermas, ya que se dice que las operaciones de dichas factorías tienen mala salud. Sus principales causas y características se verán en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Despilfarro por exceso de inventario

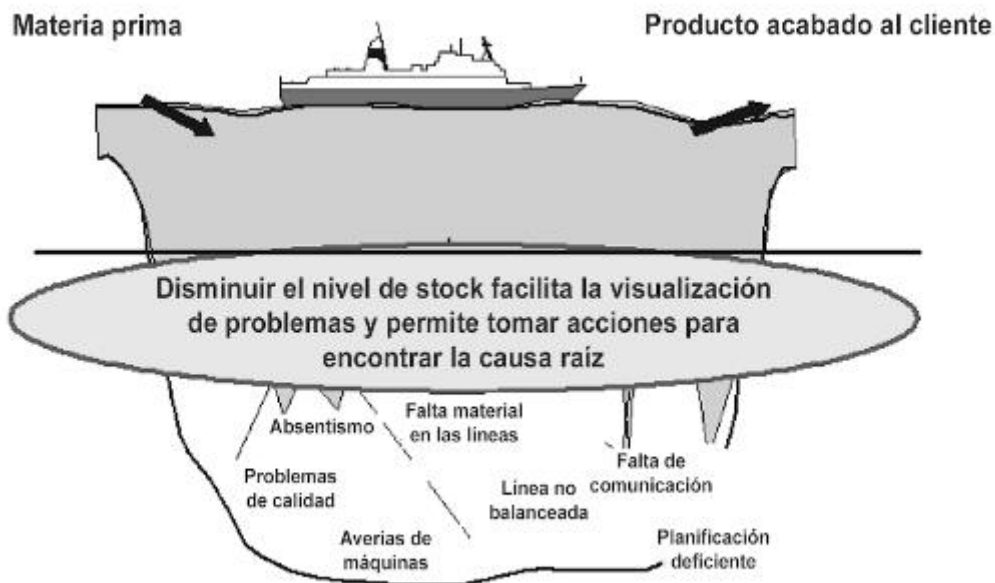
Características:	<p>Demasiados días con el producto terminado o semiterminado</p> <p>Elevados costes de movimiento y mantenimiento de stocks</p> <p>Excesivo equipo de manipulación</p> <p>Demasiado espacio dedicado al almacén</p> <p>Contenedores y cajas demasiado grandes</p>
Posibles causas:	<p>Poca capacidad en los procesos</p> <p>Cuellos de botella no identificados o no controlados</p> <p>Proveedores no capaces</p> <p>Tiempos de cambio de máquina y preparación del trabajo excesivamente altos</p> <p>Erróneas previsiones de ventas</p> <p>Defectos en la calidad del producto que provocan retrabajos</p> <p>Problemas o ineficiencias que no se ven</p> <p>Decisiones erróneas de la dirección de la empresa</p>

Este tipo de despilfarros se producen como resultado de tener mayor cantidad de existencias de las necesarias para satisfacer las necesidades. Por ello, se acumula material antes y después del proceso, lo que significa que se tiene una cantidad de stock innecesaria y que, además, no existe un flujo continuo en el proceso de producción.

Una vez identificado este tipo de despilfarro es importante eliminarlo. Para ello, hay que provocar un cambio de mentalidad en la organización y el sistema productivo. Los despilfarros por exceso de inventario se pueden explicar mediante el símil de un barco navegando, donde el agua representa los niveles de stocks y el fondo, con las rocas, las averías, el absentismo, las entregas al proveedor, etc.. Como podemos observar en la **Ilustración 2** (Rajadell & Sánchez, 2010).

Ilustración 2. Símil del barco, despilfarro por exceso de stock

Fuente (Rajadell & Sánchez, 2010)



1.5. Herramientas Lean

El Lean Manufacturing está constituido por una larga serie de técnicas que se han ido aplicando a lo largo de los años en las factorías. Dichas técnicas se pueden utilizar de forma independiente o conjunta en función del caso a tratar. Realmente, no están identificadas todas las técnicas ya que son un gran número, pero podemos decir que estas herramientas son la base de las oportunidades de mejora dentro de una industria.

Las oportunidades de mejora que se suelen encontrar con más facilidad son despilfarros que dependen de la propia organización de la empresa. Después de haber identificado estas oportunidades de mejora, es hora de que la organización se encargue de eliminar todo aquello que no aporte ningún valor al producto a través de actividades y de las herramientas *Lean*, que se utilizarán en función de las capacidades, recursos y habilidades disponibles.

1.5.1 Las 5S

La herramienta de las 5S se corresponde con la aplicación de principios de orden y limpieza dentro de cualquier industria, algo que ya existía dentro de cada una de las organizaciones antes de que apareciese el Lean. El acrónimo de 5S se corresponde con cinco palabras en japonés que empiezan por s: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* y *shitsuke*.

Estas palabras significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y disciplina o crear hábito.

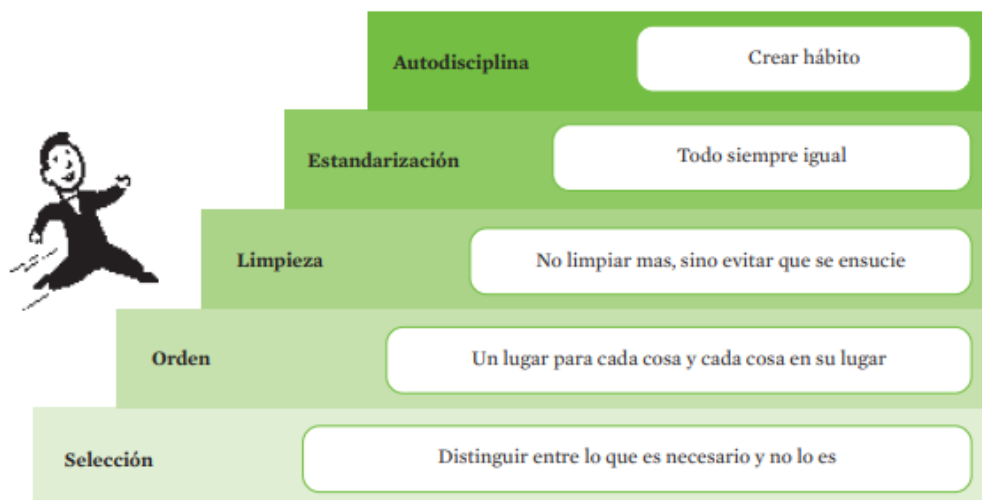
La implantación de las 5S sigue unos principios fáciles de entender y, además, no supone grandes inversiones para su implantación. Esta tiene por objetivo evitar señales disfuncionales en la organización como las siguientes (Hernández & Vizán, 2013):

- Aspecto sucio de la planta: máquinas, instalaciones, técnicas, ...
- Desorden: técnicas sueltas, embalajes, pasillos ocupados, ...
- Elementos rotos: cristales, topes, mobiliario, indicadores, señales, ...
- Ausencia de instrucciones sencillas de cada operación
- Gran número de averías frecuentes
- Falta de interés por parte de los empleados en su puesto de trabajo
- Desplazamientos y recorridos insignificantes de personal y materiales
- Espacio insuficiente

La **Ilustración 3** resume los principios básicos de las herramientas de las 5S y las fases o pasos de su implantación.

Ilustración 3 Implantación de las 5S

Fuente (Rajadell & Sánchez, 2010)



A continuación, vamos a explicar cada una de las herramientas que componen las 5S.

1.5.1.1. Eliminar (Seiri)

Es la primera de las 5S y significa eliminar o clasificar todos los elementos que sean innecesarios en una misma área para una tarea determinada, es decir, consiste en separar lo que es necesario de lo que no para que no haya elementos inútiles ni estorbos que generen despilfarros. Estos despilfarros pueden ser: el incremento de los transportes y las manipulaciones, los accidentes personales, la pérdida de tiempo en localizar cosas, costes por exceso de inventario o ausencia de espacio.

Para distinguir entre lo que hay que eliminar y lo que no se puede hacer una pregunta clave: ¿es útil o inútil? Con ella podemos eliminar lo que realmente no hace falta para las operaciones que se van a realizar. Para ello, se separa lo que es realmente útil de aquello que no lo es. Luego, se mantiene lo que se necesita y se elimina lo que sobra, y los elementos que sean necesarios se clasifican según la frecuencia con la que se utilizan. Esto se aplica a materiales tangibles, como son las herramientas o las máquinas, e intangibles, como los ficheros o la información.

Para la aplicación de esta herramienta se utilizan las llamadas tarjetas rojas, como la de la **Ilustración 4**, adheridas a los elementos que pueden ser prescindibles en la operación. Esto puede deberse a que estos ya no se utilicen o a que hayan quedado obsoletos; es decir, se les puede considerar como un desecho.

Ilustración 4 Ejemplo de una tarjeta roja (*seiri*)

Fuente (Hernández & Vizán, 2013)

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO			
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA	Localización	Cantidad	Valor
RAZÓN	1. No se necesita	5. Contaminante	
	2. Defectuoso	6. Otros	
	3. Material de desperdicio		
	4. Uso desconocido		
ELABORADA POR		Departamento	
FORMA DE DESECHO	1. Tirar	5. Otros	
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESCHECHO			

Podemos considerar ejemplos de aplicación del *seiri* cuando en los talleres las herramientas siempre están colocadas en el mismo lugar, en las oficinas los documentos están en una estantería por orden alfabético, y así es más fácil su localización e identificación, o en un ordenador mediante la utilización de carpetas para distintos ficheros.

Podemos citar una frase que sintetiza la utilidad de esta herramienta (Rajadell y Sánchez, 2010, pág. 52): “Eliminar todo lo inútil del puesto de trabajo y su entorno”.

1.5.1.2. Ordenar (*Seiton*)

Los elementos que antes hemos clasificado como útiles o necesarios, ahora debemos ordenarlos para poder encontrarlos con la mayor facilidad posible. En esto consiste esta nueva herramienta conocida como *seiton*, que permite conocer la ubicación exacta de cada elemento. Para implantar dicha herramienta debemos limitar las áreas de trabajo, de almacén y de zonas de paso, y disponer de lugares adecuados para cada herramienta a fin de evitar duplicidades. En definitiva, buscamos que cada cosa esté en su posición y haya una posición para cada cosa.

Para llegar a poner en práctica esta herramienta es necesario disponer de todo lo necesario en el momento en el que se necesita, es decir, tener un fácil acceso a cualquier lugar o elemento que necesitemos durante la operación. Para ello, hay que decidir dónde colocar y cómo colocar cada elemento que se utilice durante la producción y, de esta manera, que los empleados tengan un fácil acceso a este para favorecer la calidad, la seguridad y que el trabajo se realice de forma correcta. Para ordenar los elementos se puede seguir el criterio que se muestra en la **Ilustración 5**.

Ilustración 5 Gráfico del *seiton*

Fuente (Rajadell & Sánchez, 2010)



Para llevar a cabo el *seiton* podemos aplicar unas reglas de sentido común como las siguientes:

- Suprimir el polvo, la suciedad, la electricidad estática, etc., y colocar los artículos en sobres, cajas, etc., bien ordenados.

- Incluir unos niveles de stock máximo y mínimo para mantener siempre un stock que no cause problemas para la producción.
- Delimitar zonas para ordenar los objetos de manera que no interrumpan ni estorben para la realización de las operaciones.
- Mantener un orden en las estanterías y en los muebles, además de en su localización.
- Facilitar los transportes mediante la ordenación de las zonas de almacén para poder utilizar el método FIFO (*first in first out*).
- Colocar los elementos de la manera en que menos estorben, ya sea en líneas rectas, ángulos rectos, en vertical o paralelo.
- Diferenciar los contenedores defectuosos o rechazados mediante un color.
- Nunca colocar nada sobre el suelo.
- Describir específicamente las ubicaciones de cada elemento, archivo, herramienta, etc.

1.5.1.3. Limpieza e inspección (*Seiso*)

La herramienta conocida como *seiso* se utiliza para limpiar el entorno y así conseguir la prevención de defectos. Para aplicar esta herramienta se pueden seguir los siguientes pasos: incluir la limpieza diariamente dentro del trabajo que se realice, comprometerse con la limpieza como una tarea estrictamente necesaria y concentrarse en todo aquello que produce suciedad y no en las consecuencias que esto conlleva.

La limpieza es la principal tarea que se debe hacer en los equipos de trabajo, ya que esta ayudará a encontrar los posibles defectos de este motor como fugas, rebabas, pérdidas, etc. Para aplicar esto podemos recordar una cita del profesor Ytsuda que decía: “organizar, ordenar y limpiar no es pagar o pedir al personal que limpie, es un planteamiento sistemático de gestión” (Rajadell & Sánchez, 2010).

Para finalizar, podemos citar una frase de (Rajadell y Sánchez, 2010): “Limpiar para inspeccionar, inspeccionar para detectar, detectar para corregir” (p58).

1.5.1.4. Estandarizar (*seiketsu*)

La herramienta *seiketsu* nos permite apuntalar los objetivos que hemos alcanzado por medio de la aplicación de las tres primeras S, y así poder asegurar que los efectos conseguidos se mantendrán durante mucho tiempo.

Mediante la estandarización se consigue que las cosas estén en unos lugares fijos para desarrollar las operaciones dentro del proceso productivo, además de realizar mayor limpieza e inspecciones a los elementos utilizados.

Es fundamental que la herramienta sea aplicada en todos los momentos en que sea necesario, es decir, que también se estandarice su aplicación cada cierto tiempo, ya sea cada hora, cada día, etc. Para aplicar *seiketsu* son fundamentales los siguientes pasos:

conservar los niveles que se han alcanzado mediante *seiri*, *seiton* y *seiso*, es decir, mediante las tres primeras de las 5S; elaborar y cumplir correctamente unos patrones de limpieza para las operaciones a realizar; y concienciar a todo el personal involucrado de la importancia de aplicar los patrones elaborados.

En la aplicación de esta nueva herramienta se pueden obtener beneficios que se reflejan en múltiples aspectos: el personal alcanzará un conocimiento más detallado de las instalaciones de la compañía; es importante instaurar unos hábitos de limpieza; se reducirán los accidentes gracias a la limpieza de los puestos y de todo en general; el tiempo de paradas en caso de averías será menor debido a la limpieza de las instalaciones; etc.

También se pueden destacar varias razones que justifican la importancia de la estandarización, y el por qué se realiza para incluir actividades preventivas. Entre ellas se encuentran: simbolizan la forma más fácil y segura de realizar cualquier trabajo; suministran una base de mantenimiento y mejora; exponen una relación entre la causa y el efecto; permiten alcanzar con mayor facilidad los objetivos y las metas; y generan bases para auditorías y diagnósticos.

1.5.1.5. *Disciplina (shitsuke)*

Esta es la última de las 5S y su objetivo principal es que se utilicen de forma habitual los métodos estandarizados que hemos conseguido con las cuatro herramientas anteriores. Con la aplicación de esta herramienta se conseguirá que los proyectos en los que se han aplicado las 5S perduren más.

Con la idea del *shitsuke* se trata de conseguir que los operarios estén altamente cualificados para poder resolver problemas que puedan surgir, aplicar estándares de trabajo o ejecutar las tareas que sean necesarias sin cometer errores. Para ello, en la aplicación de esta herramienta se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se deben respetar las normas de funcionamiento que haya impuesto la organización.
- Es obligatorio reflexionar sobre el grado de cumplimiento y aplicación de dichas normas.
- Se debe mejorar la autodisciplina y la disciplina de los demás.
- Todos los miembros del equipo deben realizar auditorías de autoevaluación.

Podemos resumir la aplicación de esta herramienta mediante una cita de (Rajadell y Sánchez, 2010): “Cumplir las normas y progresar buscando la mejora continua. Vivir y hacer vivir el espíritu 5S” (p63).

En definitiva, la metodología de las 5S son cinco pasos para asignar recursos, adaptarse a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos. A continuación, se muestra la **Ilustración 6** a modo de resumen de las 5S.

Ilustración 6. Resumen de las 5S
Fuente (Hernández & Vizán, 2013)

SEIRI Separar y eliminar	SEITON Arreglar e identificar	SEIDO Proceso diario de limpieza	SEIKETSU Seguimiento de los primeros 3 pasos, asegurar un ambiente seguro	SHITSUKI Construir el hábito
Separar los artículos necesarios de los no necesarios	Identificar los artículos necesarios	Limpiar cuando se ensucia	Definir métodos de orden y limpieza	Hacer el orden y la limpieza con los trabajadores de cada puesto
Dejar solo los artículos necesarios en el lugar de trabajo	Marcar áreas en el suelo para elementos y actividades	Limpiar periódicamente	Aplicar el método general en todos los puestos de trabajo	Formar a los operarios de cada puesto para que hagan orden y limpieza
Eliminar los elementos no necesarios	Poner todos los artículos en su lugar definido	Limpiar sistemáticamente	Desarrollar un estándar específico por puesto de trabajo	Actualizar la formación de los operarios cuando hay cambios
Verificar periódicamente que no haya elementos no necesarios	Verificar que haya “un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”	Verificar sistemáticamente la limpieza de los puestos de trabajo	Verificar que exista un estándar actualizado en cada puesto de trabajo	Crear un sistema de auditoría permanente de planta visual y 5s

1.5.2. Heijunka

Al hablar de *heijunka* hablamos de “nivelación”. Se trata de otra importante herramienta de Lean, cuyo objetivo es ayudar a las empresas a que la demanda se satisfaga correctamente mediante una nivelación de la producción que genera, a su vez, una reducción de los desperdicios en el proceso. Por ello, podemos decir que tiene un gran compromiso con la filosofía JIT.

Heijunka se define como “técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo, normalmente un día o turno de trabajo.” (Hernández & Vizán, 2013). Esta herramienta solo es aplicable si hay gran variación en los productos que se producen, y para ello es necesario conocer en gran medida la demanda que tienen los clientes sobre los productos para aplicar estrictamente una estandarización y estabilización del proceso productivo.

Para la aplicación de esta herramienta es necesario tener en cuenta que la nivelación debe encontrarse dentro del flujo de producción o ritmo, y no en la capacidad, debido a que, en ese caso, podemos encontrar sobreproducción en el proceso, lo que se traduce en excesos de inventarios, tanto de productos en proceso como de productos terminados, costes de oportunidad, ...

También hay que tener en cuenta que el *heijunka* no se puede aplicar a todos los procesos y entornos, ya que el proceso, el producto o los medios necesitan cumplir unas particularidades como, por ejemplo, la necesidad de que los procesos estén formados por referencias variadas del producto, es decir, que haya una determinada flexibilidad en las unidades que se deben producir.

Para establecer la herramienta *heijunka* es necesario la utilización de otra serie de herramientas que proporcionan un flujo constante y nivelado a raíz de la demanda: la utilización de células de trabajo, establecer un flujo continuo por pieza fabricada, utilizar una producción ajustada al *takt time* (tiempo de ritmo) y una nivelación de las cantidades producidas y de la producción por Sku (referencia).

Una vez implantado *heijunka* se encuentran ventajas o beneficios en el sistema productivo, como la minimización de la sobreproducción, la implementación del sistema pull, la minimización de los inventarios de productos en proceso y productos terminados, o la reducción de los costes de oportunidad, entre otros. Además, esta implementación tiene aproximadamente una duración de entre 4 y 6 meses, en los cuales se produce una mejora continua (Salazar López, 2016).

1.5.3. Kanban

El *kanban* es otra de las herramientas más importantes del Lean Manufacturing, cuya traducción al castellano es tarjeta. Se utiliza cuando la producción está basada en sistemas de tirar, es decir, en sistemas pull, que se basa en la optimización de inventarios y flujos de productos dependiendo del comportamiento de la demanda de producto. Por ello, se apuesta por conocer la demanda a tiempo real y tener una cadena flexible, aunque esto sea demasiado complejo. Esto se realiza mediante la utilización de tarjetas que aseguran una alta calidad y una producción exacta en el momento adecuado.

El sistema *kanban* consiste en que “cada proceso retira los conjuntos que necesita de los procesos anteriores y estos comienzan a producir solamente las piezas, subconjuntos y conjuntos que se han retirado, sincronizándose todo el flujo de materiales de los proveedores con el de los talleres de la fábrica y, a su vez, con la línea de montaje final. Las tarjetas se adjuntan a contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta y la cantidad que refleja la misma es la que debe tener el envase o contenedor” (Hernández & Vizán, 2013).

De esta manera, podemos decir que el sistema *kanban* determina los inventarios que se producen en los diferentes centros de trabajo a través de tarjetas, como la que se muestra

en la **Ilustración 7**, que van adjuntas a contenedores o envases; de esta manera, las tarjetas conceden órdenes nuevas de producción de los lotes siguientes. En las tarjetas se pueden apreciar diferentes tipos de información como el nombre y código de la pieza que se fabrica, el centro de trabajo de procedencia de las piezas, el lugar donde se fabrican, las piezas que se van a producir, el destino de almacenamiento de las piezas, etc.

Ilustración 7. Ejemplo de tarjeta *kanban*

Fuente (Hernández & Vizán, 2013)

KANBAN	
CÓDIGO Art.	63 10 2200
DESCRIPCIÓN	PLA 63x10x2200
Cantidad a fabricar	Consumo promedio
50	100
Cantidad de Tarjetas KANBAN	
2 de 2	
Almacén Estante:	
A 02	
Material:	
63x11	

Se puede distinguir entre dos tipos de *kanban*: el de producción, como el de la **Ilustración 8**, y el de transporte, como el de la **Ilustración 9**. En el primero se expone la referencia y la cantidad del producto que se va a fabricar en dicho proceso productivo. En el segundo, el *kanban* de transporte, se muestra la referencia y la cantidad de producto que se debe retirar del proceso justamente anterior, o del contenedor.

Ilustración 8. Ejemplo de *kanban* de producción

Fuente (Salazar López, 2016)

Proceso:	Ensamble de suela y capellada
Depositar piezas en:	Almacén proceso 2 (AI-2)
Referencia:	F-026-39
Nombre de la pieza:	Sandalia talla 39 color azul Ref: 26
Cantidad a producir	
40 unidades	

Ilustración 9. Ejemplo de kanban de transporte

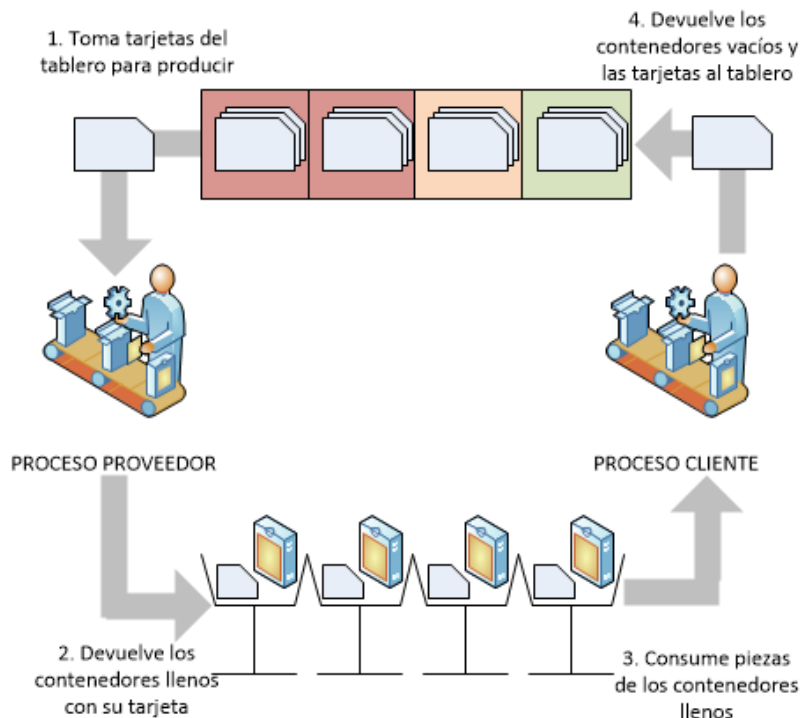
Fuente (Salazar López, 2016)

<i>Proceso anterior:</i>	Pulido de rebaba
<i>Proceso posterior:</i>	Ensamble de suela y capellada
<i>Contenedor:</i>	Almacén proceso 2
<i>Referencia:</i>	F-026-39
<i>Nombre de la pieza:</i>	Suelas de EVA
<i>Tipo de calzado:</i>	Sandalia talla 39 color azul Ref: 26
<i>Capacidad del contenedor</i>	<i>Tipo de contenedor</i>
40 unidades	A

El funcionamiento del sistema *kanban*, como vemos en la **Ilustración 10** consiste en un tablero en el que se colocan las tarjetas *kanban*, situado de tal forma que los operarios que lo necesiten lo puedan ver fácilmente desde su situación de trabajo habitual. Cada una de estas tarjetas está relacionada con un contenedor: si este está vacío la tarjeta deberá estar en el tablero y si está lleno la tarjeta deberá situarse en el contenedor. En otras palabras, cuando las tarjetas se encuentran en la zona roja del tablero significa que no hay inventario de esas piezas y, por ello, hay que producir, y si se encuentran en la zona amarilla o verde, quedarán unidades y no es tan urgente producir.

Ilustración 10. Funcionamiento del sistema *kanban*

Adaptado de (Salazar López, 2016)



El sistema *kanban* es un tipo de herramienta que no siempre se debe utilizar. Esta herramienta debe emplearse cuando en el sistema de producción haya una gran mezcla de referencias de piezas y productos, cuando se ha adoptado la filosofía Lean y se han utilizado las herramientas 5S y SMED, cuando la intención de la producción es la formación de lotes de pequeño tamaño o cuando se tienen muy altos costes de inventarios de los productos en el proceso productivo. La implementación de esta herramienta tiene un tiempo promedio de uno a tres meses de duración.

El *kanban* proporciona ciertas ventajas al ser utilizado. En primer lugar, nivela la demanda y el flujo de producción, eliminando desperdicios de sobreproducción y exceso de inventario. También, mejora el nivel de servicio que se le da desde el interior de la empresa al cliente, tanto interno como externo. Por último, es capaz de soportar las actividades de planificación de la producción, es decir, se puede planificar con anterioridad el proceso productivo de los productos a realizar (Salazar López, 2016).

1.5.4. SMED

El SMED (*Single-Minute Exchange of Die*, es decir, cambio de herramienta en un solo dígito de minutos) es una “herramienta de mejora que permite reducir los tiempos de cambio de útiles de forma considerable, lo que se traduce en un aumento de flexibilidad, productividad y eficiencia. Sin embargo, la implantación de esta herramienta requiere un periodo de formación en el que se aprende a distinguir entre los diferentes tipos de operaciones, a tener la capacidad de transformar operaciones internas en externas y a resolver los problemas que esto plantea, etc.” (Gil García, Sanz Angulo, de Benito Martín, & Galindo Melero, 2012).

Esta herramienta fue desarrollada por Shigeo Shingo y aplicada en los sesenta por Toyota para conseguir una mejora en los tiempos de fabricación. Es considerada una metodología fácil y barata para aplicar, que permite obtener unos resultados positivos y rápidos. También se considera una herramienta importante porque cuando los lotes de producción son grandes, la inversión también es elevada, y un cambio de herramienta rápido puede suponer la producción de la cantidad necesaria diariamente, sin la necesidad de tener inventarios en los que se producen costes.

La herramienta SMED, además de realizar cambios de herramienta rápidos, lleva asociada la eliminación de errores y despilfarros. También aumenta la capacidad de las máquinas reduciendo tiempos de cambio y preparación, sin la necesidad de realizar inversiones en nueva maquinaria. SMED hace uso de técnicas de calidad, como el análisis de Pareto, realizando las preguntas: ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Dónde?, ¿Quién? ¿Cuándo? y sus ¿por qué?, para detectar los posibles cambios en las tareas de preparación de las máquinas en el proceso productivo (Hernández & Vizán, 2013).

Para aplicar SMED, el primer paso consiste en definir el objetivo que se desea alcanzar, es decir, minimizar el tiempo de cambio, el coste, aumentar la disponibilidad de la máquina, etc. Seguidamente, cuantificar el objetivo si es posible, es decir, declarar en qué cantidad se desea mejorar el tiempo de cambio, el coste, etc. Luego, se realizará la

selección y la formación del equipo que va a formar parte del proyecto, que serán personas que conozcan a la perfección el proceso de fabricación.

El siguiente paso será documentar el proceso que se va a realizar. Para ello, debe documentarse la situación antes de aplicar SMED. Lo habitual es que un especialista se encargue de identificar y cronometrar las tareas teniendo en cuenta hasta los más mínimos detalles. Otra alternativa es grabar un vídeo de la operación, lo que tiene varias ventajas: se puede repetir la visualización de la operación varias veces, tener en cuenta varias opiniones, es más fácil de analizar, se puede utilizar para formar a más personal, etc.

A continuación, se realiza lo que es considerado como análisis y mejora. Para ello, en primer lugar, se clasifican las operaciones en internas y externas, es decir, las que se realizan con la máquina parada y las que se realizan con la máquina operando, respectivamente. Acto seguido, se convierten las operaciones internas en externas, para que las operaciones, o parte de ellas, se realicen con la máquina en marcha como, por ejemplo, hacer premontajes, prerreglajes, estandarizar, etc.

Una vez convertidas todas las operaciones internas que sea posible en externas, el objetivo se centra en reducir el tiempo de ajuste de estas al mínimo. Para ello, se realizan diferentes pasos como la estandarización de las operaciones de preparación, la utilización de sistemas de fijación rápida, la adopción de medidas de preparación en paralelo, la eliminación de ajustes o la mecanización de algunos procesos de preparación de las máquinas utilizadas.

El siguiente paso será la realización de un plan de acción para conseguir los objetivos propuestos. Este debe estar formado por un responsable de realizar y validar cada acción, la fecha en que el objetivo debe estar realizado, los recursos y coste que se ha estimado que va a tener la realización de la técnica y, por último, la mejora global que se necesita para conseguir el cambio.

Uno de los últimos pasos a realizar será el seguimiento del cambio, donde una vez aprobado el plan de acción anterior, este será implantado y comprobado de que cumple el objetivo fijado. Para ello, a medida que se implantan las acciones, se va actualizando el cambio para estandarizar las mejores y conseguir todos los resultados esperados. La principal causa de que se produzca un fracaso en la implantación es la falta de implicación necesaria por parte de la dirección y la línea de mando.

Por último, se realiza el mantenimiento del cambio para conseguir que el cambio no se degrade con el tiempo. Para ello, los operarios respetan las nuevas instrucciones de preparación, controlando los nuevos tiempos para que estos no crezcan, los auditores comprueban las desviaciones que se produzcan en el sistema de utillaje y, por último, la dirección evalúa la eficiencia del cambio, para proponer nuevos planes de acción y reconoce a los partícipes de las mejoras (Araújo Araújo, 2017).

1.5.5. TPM (Mantenimiento Productivo Total)

El TPM “es un conjunto de técnicas orientadas a eliminar las averías a través de la participación y motivación de todos los empleados. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos, desde los directivos hasta los ayudantes de los operarios” (Hernández & Vizán, 2013).

En el TPM se distinguen una serie de estrategias: la maximización de la eficacia global cubriendo toda la vida del equipo, involucrar todos los departamentos y empleados relacionados con la operación, establecer un mantenimiento que cubra la vida completa del equipo y que este mantenimiento motive a todo el personal relacionado con él.

Los pilares que forman el mantenimiento productivo total los encontramos en la **Ilustración 11** y son los siguientes: mejoras enfocadas, mantenimiento planificado, mantenimiento autónomo, mantenimiento de calidad, prevención del mantenimiento, mantenimiento de áreas de soporte, mejora de la polivalencia y habilidades de operación y seguridad en el entorno.

Ilustración 11. Pilares del TPM

Adaptado de (CDI Lean Manufacturing S.L., 2012)



El desarrollo del TPM se puede diferenciar en cuatro fases principales, las cuales están descompuestas en doce pasos. Las cuatro fases diferenciadoras del TPM son: preparación, introducción, implantación y consolidación. A continuación, se explican de manera superficial cada una de ellas.

En la fase de preparación es en la que se elaboran los fundamentos del programa TPM. Es importante que esté definida cuidadosamente para no tener que realizar modificaciones. Se inicia siendo anunciada la introducción del TPM y se finaliza con su plan de desarrollo.

Una vez aprobado el plan del TPM, este se inicia en la fase de introducción. Comienza por elevar la moral y la dedicación de los trabajadores. Se realiza una reunión con todo el personal, desde los obreros hasta los clientes finales pasando por los subcontratistas y proveedores, para informar de la implantación del TPM y los planes a desarrollar.

La siguiente fase es la de implantación, en la que se desarrollan las actividades propuestas en el plan maestro para lograr los objetivos. Se debe seguir un orden y cumplir unos plazos para que todo sea correcto. En muchas ocasiones se realizan tareas de forma simultánea al realizar el TPM.

Por último, se encuentra la fase de consolidación, cuyo objetivo principal es afianzar los niveles que se han logrado y mejorar las metas. Dicho de otra manera, se debe continuar ajustando las metas y convirtiéndolas cada vez en más eficaces. El objetivo de las empresas es que los programas TPM las ayuden a los planes estratégicos en lo que a supervivencia y rentabilidad de años futuros se refiere (Suzuki, 1992).

Uno de los objetivos de mantenimiento productivo total es la maximización de la eficacia de los equipos por medio del esfuerzo que realice todo el equipo de la empresa. Por ello, la herramienta se centra en eliminar los tiempos muertos que se producen en la maquinaria y lo hace a través de siete pasos.

En primer lugar, se debe encontrar los equipos y la maquinaria limpios. Los componentes del equipo deben llevar a cabo la limpieza para así identificar los defectos y los puntos débiles. Se establecen unas normas de limpieza periódica para mantenerse dentro de unos buenos resultados.

La prevención de las fuentes de contaminación es otro de los pasos que vamos a encontrar dentro de la eliminación de tiempos muertos. Se trata de identificar y eliminar la contaminación y la suciedad dentro de los equipos mediante diferentes técnicas de análisis.

En tercer lugar, encontramos los estándares de limpieza y reparación. En este punto se crean y aplican los estándares necesarios para prevenir la contaminación y la suciedad dentro de cualquier proceso. Con esto se puede asegurar un mantenimiento regular y, con ello, una reducción de los tiempos de limpieza.

Otro punto importante es que los operadores estén capacitados y sean independientes para realizar reparaciones, es decir, que si un operador detecta defectos o un mal funcionamiento de un equipo, el mismo sea capaz de repararlo satisfactoriamente adoptando las medidas correctas.

El quinto paso será la reparación independiente por el operador. Están capacitados para ser los responsables de aplicar los mantenimientos y realizar las acciones correctivas ante cualquier fallo que se produzca durante la operación. Por ello, es recomendable instalar poka-yokes para prevenir los errores y corregir antes los fallos, lo que se puede traducir en la reducción de tiempos muertos.

Por consiguiente, se deben tener los procesos estandarizados, lo que significa que todo lo que se realice debe estar documentado, para así mantener las mejoras bajo el método científico y que los procesos estén validados y realizados de la misma manera y así evitar confusiones.

Por último, se propone un uso de un mantenimiento autónomo para que cada operador tenga la responsabilidad del mantenimiento de su máquina o equipo de trabajo. También

son necesarios los coordinadores y la ingeniería para aumentar la efectividad general de los equipos. Para ello, es recomendable tener claro quiénes son los responsables de cada equipo de trabajo (González Correa, 2007).

1.5.6. *Jidoka*

Esta nueva herramienta de Lean Manufacturing la podemos traducir al castellano como automatización con un toque humano o autonomación. Se trata de que la producción tenga su propio control de calidad sobre sí misma, deteniéndose si se encuentran anomalías, para poder impedir el avance de piezas defectuosas. Con esta herramienta se pretende que se produzcan piezas con cero defectos y las que los tienen no avanzarán en el proceso.

En el sistema *jidoka* encontraremos dos subsistemas de detección de fallos: el primero son las máquinas automatizadas que están formadas por dispositivos automáticos de detección para que no se produzcan piezas defectuosas; la segunda es la capacidad que tienen los operadores para parar la producción, deteniéndose en este caso el proceso por medio del operador para prevenir también la fabricación de artículos defectuosos.

En la autonomación por medio del *jidoka* podemos encontrar diez etapas, que están descritas en la **Tabla 9**, y cuyo principal objetivo es encontrar situaciones anormales en los procesos para poder corregirlas en el menor tiempo posible (Salazar López, 2016).

Tabla 9. Las 10 etapas del *jidoka*
Adaptado de (Hernández & Vizán, 2013)

Etapas	Descripción	Carga Hombre/Máquina
1	Automatización del proceso El objetivo es transmitir el esfuerzo del operario a la máquina.	
2	Autonomación de sujetar Establecer sistemas automáticos para apretar, sustituyendo a los manuales. El operario solo se encarga de cargar la herramienta.	Operaciones simultaneas Operario/máquina
3	Autonomación de alimentación El sistema se alimenta de forma automática. El operario es el encargado de parar esta alimentación en caso de ser necesario por errores	
4	Autonomación de paradas El equipo se para automáticamente al final del proceso correspondiente. No es necesario que el operario esté presente en ese momento.	
5	Autonomación de retornos El sistema es capaz de volver al punto de inicio una vez finalizado el proceso sin ayuda del operario.	Tareas de operario
6	Autonomación de retirada de piezas Una vez haya finalizado el proceso y el retorno, la pieza se retira automáticamente, de forma que la nueva pieza pueda ser introducida sin la necesidad de que el operario tenga que manipular la anterior.	
7	Mecanismos antierror (Poka-Yoke) Se instalan dispositivos que permitan detectar errores para que las piezas defectuosas sean eliminadas del proceso. Se parará la producción y se avisará al operario.	
8	Autonomación de carga El equipo es capaz de cargar la pieza sin necesidad de que actúe el operario. Si hay algún error el equipo debe ser capaz de detectarlo y parar la producción.	
9	Autonomación de inicio Una vez que se haya finalizado el proceso, los equipos procesarán las piezas autónomamente, anticipándose a problemas de seguridad y calidad.	Tareas de máquina
10	Autonomación de trasferencia Las operaciones estarán enlazadas unas con otras de forma autónoma, sin la intervención del operario.	

Capítulo 2. Internet de las Cosas

2.1. Definición y orígenes

El Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*) se puede definir como la consolidación de la red de redes en una red que la que intervienen gran cantidad de objetos y dispositivos, es decir, tener la posibilidad de tener conectado a una red cualquier vehículo, electrodoméstico, dispositivo, objeto, etc., o cualquier cosa que nuestra mente pueda llegar a imaginarse y que exista en el mundo real.

La posibilidad de poder conectar cualquier cosa a internet ha desembocado en la aparición de infinitas aplicaciones que pueden llegar a ser beneficiosas para la vida diaria de una persona. Dada su aparición en el día a día en artículos o debates tecnológicos, se puede decir que el IoT es un concepto de hace tiempo, aunque en realidad sea un concepto reciente, actual.

En el año 2009 Kevin Ashton, profesor del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), utilizó por primera vez públicamente la expresión “*Internet of Things*”; desde ese momento, el uso de IoT ha seguido creciendo exponencialmente. Aunque fue esa la primera vez que se utilizó el término, las investigaciones sobre el Internet de las Cosas datan del año 1999, aunque estas no se hicieron públicas (Evans, 2011).

El Internet de las Cosas tiene su origen en la resolución de un problema de stocks. En 1999, en la empresa Procter & Gamble (P&G) se encuentran con el problema de que sus

productos más populares estaban agotados en las tiendas. De esta manera, Ashton observa que una mayor publicidad de cualquier producto produce un aumento de sus ventas, dando lugar a que se agoten más fácilmente.

La solución encontrada fue la introducción de sensores que indicasen el stock de cada producto. El problema de la época era que se contaba con un internet lento, en el que la conexión se producía habitualmente a través de la línea telefónica. La idea era conectar sensores en todas partes. Esta idea, confusa en su momento, se investigó en el MIT y en el año 2009 comenzó a cuajar y se convirtió en una palabra usada en todo el mundo.

Kevin Ashton resumió una serie de ideas que explicaban el IoT en aquellos años:

“Hoy en día, los ordenadores (y, por tanto, internet) dependen casi por completo de los humanos para obtener información. Prácticamente la totalidad de los datos alojados en internet han sido generados por humanos, pero tenemos atención, precisión y tiempo limitados; luego no podemos considerarnos como el medio ideal para obtener información del mundo real.

Si hubiera equipos que pudieran saber todo acerca de todas las cosas, obteniendo los datos sin ayuda de nadie, podríamos controlarlo todo; reduciendo gastos, pérdidas y costes”

Otro importante investigador sobre el Internet de las Cosas, que también forma parte de los investigadores del MIT, es Neil Gershenfeld. Este elaboró un libro llamado *“Cuando las cosas empiecen a pensar”*, en el año 1999, en el que también se incluyen ideas fundamentales sobre el IoT: *“Además de intentar que los ordenadores estén en todas partes, deberíamos intentar que no estorbaran”, “Se debe hacer uso de la tecnología sin atender las necesidades de ésta” y “Los objetos deben poder tener identidad, acceder a otros objetos y detectar su entorno”*.

Otra institución importante en la aparición de IoT fue el grupo de soluciones basadas en internet (IBSG, *Internet Business Solutions Group*) de Cisco, que propone el Internet de las Cosas como el punto en el tiempo en el que se conectan a internet más cosas u objetos que personas (Evans, 2011).

En el año 2003 el planeta estaba constituido por 6,3 mil millones de personas y unos 500 millones de dispositivos que estaban conectados a internet, por lo que existían unos 0,08 dispositivos por persona; en otras palabras, la cantidad de cosas conectadas a internet era escasa.

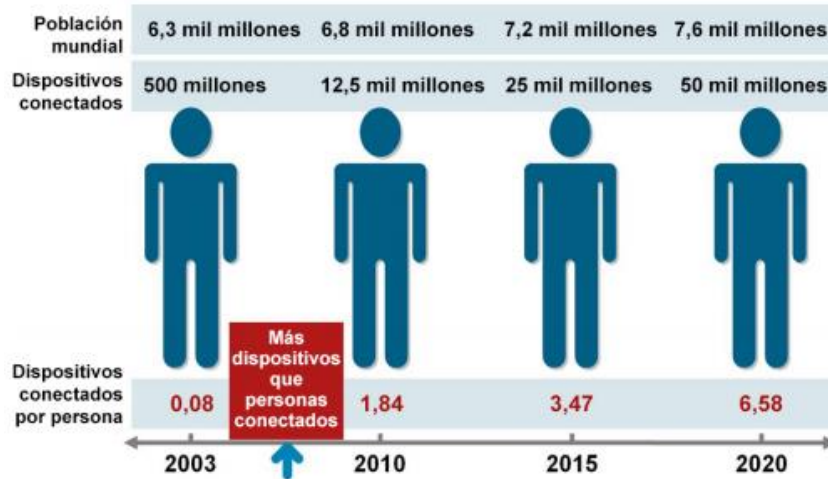
En 2010 se produce un gran crecimiento de fabricación de smartphones, tablets, etc., que aumentó el número de dispositivos conectados a internet hasta los 12,5 mil millones, lo que suponía un aumento de dispositivos conectados por persona mayor a la unidad por primera vez en la historia: 1,84 dispositivos por persona.

En concreto, fue entre 2008 y 2009 cuando se superó la unidad de dispositivos conectados por persona. En la **Ilustración 12** se puede observar la evolución y el

crecimiento de los dispositivos o cosas conectadas a internet en un periodo de menos de 20 años, de 2003 a 2020 (Evans, 2011).

Ilustración 12. Evolución de los dispositivos conectados a internet por persona

Fuente (Evans, 2011)



2.2. La importancia del IoT

Para poder comprender la importancia del IoT, es necesario distinguir entre los conceptos de Internet y Word Wide Web (web), ya que muchas veces se utilizan de la misma manera. Internet es el conjunto de aparatos físicos que forman la red y transportan la información de la manera más rápida y segura posible.

Por otra parte, la Word Wide Web, es decir, lo que tradicionalmente se conoce como web, está formada por un conjunto de aplicaciones que permiten que la información que se ha procesado a través de internet sea utilizada. En la web podemos distinguir varias etapas a lo largo de su historia (Evans, 2011):

- **Etapa 1.** En la primera etapa la web era denominada Red de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados (ARPANET). En este periodo la investigación mediante el área académica era el fin principal de la utilización de la web.
- **Etapa 2.** En esta segunda etapa la web se utiliza de forma principalmente publicitaria. Las empresas más importantes y que dominaban en ese momento, la utilizaban para compartir información y que esta llegase directamente a los consumidores de manera que conociesen los servicios y productos que ofrecía cada una.
- **Etapa 3.** En esta tercera etapa se produce el cambio de datos estáticos a información transaccional. De esta manera, se comienza a permitir la compra y venta de productos y servicios por medio de la web. Aparecen empresas

importantes como eBay o Amazon. Se dice que la etapa será recordada como el auge y la caída de las webs “punto com”.

- **Etapa 4.** Se trata de la etapa en la que nos encontramos hoy en día, con las conocidas como web “social” o “experiencia”, en las que han aparecido empresas como Facebook o Twitter haciéndose muy famosas y rentables. Permiten a los seres humanos estar conectados unos con otros, además de compartir información personal con amigos.

Cuando se habla de internet, se puede decir que no ha cambiado mucho, es decir, ha seguido la guía de desarrollo y mejora siempre. El IoT es considerado la primera evolución real de internet, ya que han aparecido aplicaciones que permiten mejorar y facilitar la vida a las personas.

Internet ahora es considerado sensorial, en el sentido de la temperatura, la presión, la luz, la humedad, etc., lo que facilita la proactividad de las personas. También internet se ha expandido hacia otros lugares como, por ejemplo, a la digestión de dispositivos conectados que facilitan los diagnósticos médicos, o a la implantación de sensores en plantas, animales o fenómenos geológicos conectados a internet.

Gracias a la comunicación los seres humanos han sido capaces de evolucionar, es decir, los seres humanos comparten, aprovechan y procesan los datos. Los datos son el pilar de la información que se obtiene. Como muestra la **Ilustración 13**, a nivel individual no son realmente importantes pero los conjuntos de datos constituyen la información, que es trasformada en conocimiento. La unión de este conocimiento con la experiencia forma la sabiduría.

Ilustración 13. Conversión de los datos en sabiduría

Fuente (Evans, 2011)



El IoT es el encargado de aumentar los datos que se conocen para que los seres humanos sean capaces de procesarlos. De esta manera, el aumento de la capacidad de internet y de los datos hace posible que los seres humanos avancen en su conocimiento cada vez más y, de la misma manera, en sabiduría.

El IoT nos permite almacenar de manera masiva datos procesados por los seres humanos, de modo que esta herramienta es imprescindible para el progreso de los seres humanos. Con internet las generaciones futuras tendrán una base para tener gran calidad de vida y, además, tener la oportunidad de prosperar en tiempos futuros.

2.3. Características, ventajas, desventajas y dominios del IoT

2.3.1. Características

En este apartado se analizarán las características principales del IoT, basándonos en la investigación del ingeniero electrónico industrial por la ULe y la UVa Ricardo Vega. Las seis características clave que forman parte del IoT son (Vega, 2015): el software y el hardware, la conectividad, la sensibilidad, la interacción, la energía y la seguridad.

El *hardware* y el *software* van ligados de la mano en los elementos que están conectados a internet y la combinación entre estos es la encargada de proporcionar la inteligencia. En este caso, podemos distinguir dos tipos de elementos: los que delegan la inteligencia en otro objeto, por ejemplo, los wearables que funcionan a través de los Smartphone; y los que son capaces de funcionar con su propia inteligencia como los termostatos.

La *conectividad* es lo que ha conseguido que el Internet de las Cosas se tan potente. Es la encargada de permitir el acceso a la red y la compatibilidad de los elementos. Por medio de la conectividad somos capaces de producir datos indistintamente de donde se encuentre la persona que los produce o del elemento que se utilice para producirlos, además de la compañía que suministre internet.

La tercera característica es la *sensibilidad*. Los sensores que tienen instalados los aparatos son los encargados de transportar lo que sucede o rodea al entorno de trabajo en un momento determinado a las máquinas. A través de las detecciones de estos, las máquinas son capaces de tener un conocimiento sobre su entorno, es decir, son capaces a través de los sensores de conocer nuestro mundo y aportar soluciones a nuestros problemas.

La *interacción* es la encargada de establecer la comunicación entre el mundo, las máquinas y los seres humanos. Permite también a los sistemas crear productos capaces de interactuar con el mundo real, es decir, es una forma de arquitectura y del funcionamiento de los sistemas para ser capaces de relacionarse con el mundo.

Por otro lado, todos los elementos funcionan por medio de la *energía*. Existen problemas como que la energía es muy complicada de almacenar y, además, las baterías acaban deteriorándose. Pero el problema más grave en el mundo inteligente lo presenta la incapacidad para compartir energía entre dispositivos y hablando del IoT siempre hay que tener en cuenta que se requiere una cantidad de energía.

Otro aspecto clave es la *seguridad*. Gracias al Internet de las Cosas somos capaces de diseñar arquitecturas seguras tanto desde el punto de vista tradicional de proteger a las personas o los riesgos electrónicos, como desde el punto de vista digital de la ciberseguridad y la privacidad. Así se consigue un gran cuidado de los datos personales y un bienestar físico. Los mismos criterios de seguridad los deben seguir desde las redes y los datos hasta los dispositivos conectados.

2.3.2. Ventajas y desventajas

Una vez explicada la evolución que ha tenido el Internet de las Cosas y sus características, como todas las tecnologías que han aparecido durante la historia, su aparición lleva asociadas unas ventajas y unas desventajas. Por ello, es necesario el trabajo de personas profesionales en este ámbito para así evitar riesgos.

El IoT nos ofrece unas capacidades que es necesario convertirlas en ventajas. Los expertos son los encargados de extraer y aplicar las tecnologías necesarias según el ámbito donde se utilicen. Estas capacidades son la comunicación y cooperación, la capacidad de direccionamiento, la identificación, la localización y la actuación. Para ello, IoT nos ofrece (Hidalgo Castro, González Jiménez, & Murillo Castro, 2017):

- *La facilidad de comunicación y el intercambio de datos.* En la actualidad, gran parte de lo que hace una persona en su día a día queda reflejado en una nube mediante unos datos de fácil acceso y transferencia. Además, el mundo está conectado a tiempo real, es decir, que todo el planeta puede saber de forma inmediata lo que está ocurriendo muy lejos de su ubicación.
- *La simplicidad de las tareas cotidianas.* El Internet de las Cosas nos da la posibilidad de activar electrodomésticos o encender las luces de nuestra casa, dar de comer a nuestras mascotas cuando no estamos en casa, etc., a través de una conexión de estos aparatos a nuestros smartphones.
- *Salud.* Hoy gran parte de los humanos están conectados a pulseras o relojes que son capaces de avisar cuándo tienen que tomar un medicamento o son capaces de mostrar el ritmo cardiaco de cada uno. También existen aplicaciones que pueden llegar a salvar vidas (p.e. a través de los smartphones de los vehículos).
- *Seguridad.* Los vehículos modernos son capaces de comunicar mediante aplicaciones si el vehículo se ha parado y si está teniendo problemas para que envíen una grúa o también si el vehículo ha sufrido un accidente y hay una situación de peligro para avisar a la policía o los servicios de emergencia. También existe la posibilidad de implantar cámaras en casa y observar por medio del smartphone lo que ocurre a tiempo real.

Como toda tecnología, el Internet de las Cosas tiene desventajas, por ello existen algunos contras a tener en cuenta (Hidalgo Castro, González Jiménez, & Murillo Castro, 2017):

- *Seguridad.* Se trata de uno de los mayores peligros de internet. Se puede poner en peligro tanto información personal como datos financieros. También existen

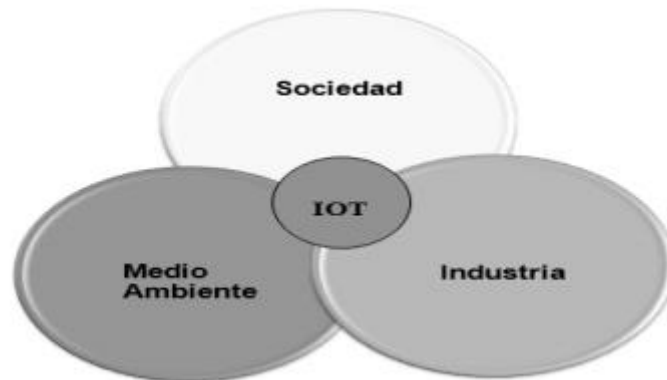
otros peligros de seguridad en internet como los virus, los malware, el *phising*, etc., que dañan los sistemas operativos.

- *Dependencia.* A medida que el tiempo avanza las personas tienen mayor dependencia de los sistemas tecnológicos. Se trata también de desventaja del IoT, ya que puede que un día no sea posible disponer de algún elemento tecnológico y puede llegar a generar problemas en los seres humanos.
- *Estabilidad de la conexión.* Una de las mayores inquietudes del IoT es disponer siempre de una muy buena conexión a internet, ya que si los elementos no disponen de una conexión estable y eficiente se pueden generar problemas constantemente.
- *Fácil acceso a información no adecuada y difícil controlar toda esa cantidad de información.*

Por otra parte, se presentan de forma general aproximaciones de los dominios que abarca el Internet de las Cosas, como muestra la **Ilustración 14**. Según el libro CERP-IoT, internet va a tener que convivir en diferentes entornos en los que se encuentran las ‘cosas’, ya que estas se comprenden de una manera o de otra dependiendo el entorno en el que se encuentre.

Ilustración 14. Dominios del IoT

Fuente (Jurado Pérez, Velásquez Vargas Washington, & Vinueza Escobar, 2014)



Cada una de las ‘cosas’ conectadas a internet tiene un valor y unas capacidades dependiendo su punto de localización y cómo está identificada, es decir, el mismo elemento puede tener valores diferentes cuando se encuentra en distintos entornos. A raíz de estos entornos generales, que presentaremos a continuación, aparecen las aplicaciones que podemos encontrar del IoT.

Cada aplicación del Internet de las Cosas engloba espacios y entornos inteligentes y varios dominios. Entre estos podemos encontrar por ejemplo el transporte, la construcción, las ciudades, las ventas al por menor, la agricultura, los servicios de emergencia, la cultura y el turismo, o el medio ambiente entre otros.

La **Tabla 10**, extraída de (Jurado Pérez, Velásquez Vargas Washington, & Vinueza Escobar, 2014), describe las características de los ámbitos de aplicación y presenta ejemplos de cada uno de ellos que ayudan a entenderlos con más facilidad y claridad.

Tabla 10. Dominios, características y ejemplos

Adaptado de (Jurado Pérez, Velásquez Vargas Washington, & Vinueza Escobar, 2014)

Dominio	Descripción	Ejemplos
<i>Industria</i>	Se trata de elementos utilizados en transacciones financieras y comerciales entre empresas, organizaciones y entidades.	Fabricación, logística, sector servicios, banca, actividades gubernamentales financieras, intermediarios, etc.
<i>Medio Ambiente</i>	Se trata de elementos utilizados en actividades de protección, supervisión y desarrollo de los recursos de la naturaleza.	Agricultura, cría de animales, reciclaje, servicios de gestión ambiental, gestión de la energía, etc.
<i>Sociedad</i>	Se trata de elementos que son utilizados en iniciativas relacionadas con el desarrollo y la inclusión de las sociedades, personas y ciudades.	Servicios gubernamentales de los ciudadanos y otras estructuras de la sociedad, e-participación, e-inclusión para personas mayores o con discapacidad, etc.

Hay que destacar que estos dominios también están relacionados entre sí, ya que las aplicaciones de cada uno de ellos no están completamente aisladas. Así, por ejemplo, una aplicación que esté relacionada con la industria no solo tiene que ver con esta, sino que también puede tener una relación directa con la sociedad, por lo que no abarcaría un único dominio.

2.4. Aplicaciones del IoT

Existen un gran número de aplicaciones potenciales del Internet de las Cosas teniendo en cuenta la actual tecnología y las necesidades de los usuarios de estos elementos. Estas aplicaciones encuentran las necesidades de la sociedad en la que se van a encontrar para continuar avanzado e innovando en cada entorno.

La lista de aplicaciones que se presenta a continuación es seleccionada por el IERC (Centro Internacional de Investigación de la Energía), que es el encargado de la investigación de la industria en campos de sistemas integrados de energía sostenible, cuyas aplicaciones se están investigando en la actualidad (Vermesan & Friess, 2013).

2.4.1. *Smart Cities* (Ciudades inteligentes)

A corto plazo, el 60 por ciento de la población mundial estará ubicado en ciudades, lo que provocará una rápida expansión de las fronteras de las ciudades actuales debido a que tienen tendencia a expandirse hacia el exterior. Se crearán megaciudades, lo que desembocará en la creación de ciudades inteligentes con economías inteligentes, edificios inteligentes, comunicaciones inteligentes, etc.

Con la creación de estas megaciudades, será fundamental que los encargados de gobernarlas inviertan en el desarrollo y despliegue del Internet de las Cosas para favorecer su desarrollo. Por este motivo, es necesario impulsar la utilización del IoT y su investigación, teniendo en cuenta los requisitos, tecnología y recursos de que cada ciudad.

En Europa existen proyectos enfocados a la aplicación del IoT en las ciudades. Uno de ellos es el FP7 Smart Santander Project (SmartSantander, 2013) que tiene por objetivo desplegar miles de dispositivos IoT en varias ciudades europeas como Santander, Guilford o Belgrado. Esto permitiría la evaluación de servicios y la realización de experimentos para investigar y desembocar en la creación de un ambiente inteligente en una ciudad.

Otro de los proyectos vigentes en Europa en la actualidad es el proyecto OUTSMART (Outsmart Assistance, 2018). Dicho proyecto se centra en los servicios públicos y en el medio ambiente de las ciudades a través del IoT. Trata de la gestión de servicios como el agua, los residuos, el alumbrado de una ciudad, el transporte público o la vigilancia, controlados por medio del IoT.

Existen números retos de investigación basados en las aplicaciones del Internet de las Cosas a las ciudades. Estos retos aparecen debido a las barreras que se encuentran en la aplicación del IoT a las ciudades. Entre otros retos, podemos destacar los siguientes (Vermesan & Friess, 2013):

- Se pretende superar la organización actual de las ciudades, ya que supone un obstáculo para crear un mundo inteligente. Cada utilidad se encuentra dentro de un entorno cerrado, lo que supone una barrera a la hora de conectar todo.
- Otro reto es la creación de algoritmos y esquemas que describan la información que se crea a través de los sensores instalados en la ciudad. Estos permitirían el intercambio de información entre los servicios de las ciudades.
- Se deben crear mecanismos para el despliegue del IoT que sean rentables, tanto desde el punto de vista de su instalación como de su mantenimiento y de la captación de la energía necesaria para su funcionamiento.
- Es necesario que los aparatos y elementos instalados proporcionen lecturas fiables, además de que estén bien calibrados y desplegados por toda la ciudad, desde postes de luz hasta cubos de basura.
- Conseguir algoritmos y protocolos de baja energía.

- Se necesitan nuevos algoritmos para el análisis y el procesamiento de los datos proporcionados por los sensores de una ciudad, y que se permita trabajar de manera fiable y segura con ellos.
- Otro gran reto es la implementación e integración en gran escala del Internet de las Cosas en las ciudades.

2.4.2. *Smart Energy y la Smart Grid (Energía y red inteligentes)*

Existe un propósito mundial de que los combustibles fósiles se utilicen cada vez menos, lo que conlleva a que en el futuro no deberían utilizarse, y la energía debería basarse en recursos renovables. El objetivo será buscar una red eléctrica inteligente y flexible capaz de controlar las fuentes de energía eléctrica y configurarla adecuadamente.

Para dicha red es necesaria la utilización de dispositivos inteligentes y elementos que estén basados en conceptos del Internet de las Cosas. Por este motivo, es necesario comprender perfectamente los consumos de cada persona para que, de este modo, el cliente pueda utilizar la energía de manera adecuada.

En el futuro las redes de energía serán muy numerosas y estarán muy distribuidas entre fuentes de energía de mediano tamaño y centrales eléctricas virtuales. En el caso de que se produzcan cortes de energía o desastres, existirán áreas aisladas de la red y suministradas por las fuentes de energía interna como la energía fotovoltaica en los techos, plantas de calor, etc.

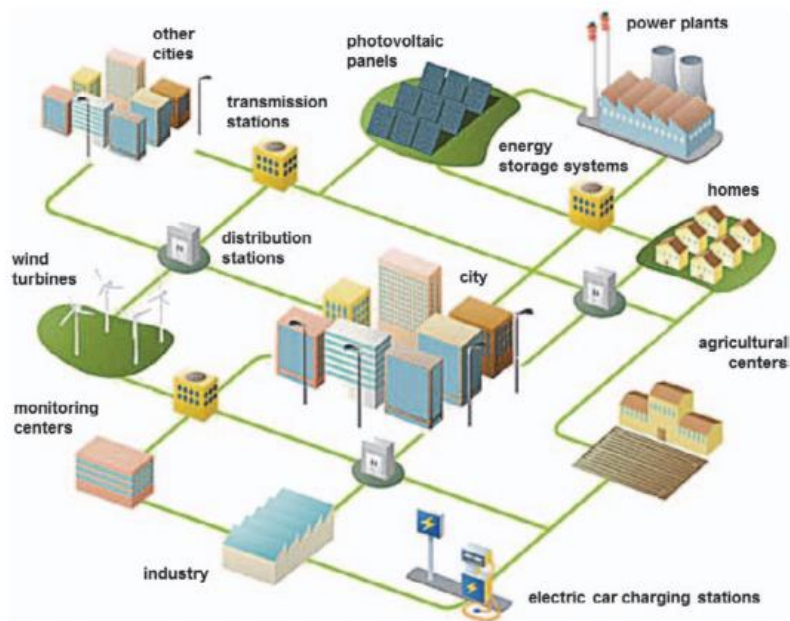
Las tecnologías pretenden ser capaces de diseñar y desplegar una infraestructura de sistemas capaces de distribuir electricidad libre de apagones y que permita el suministro de energía libre de manipulaciones, ya sean accidentales o intencionadas. Para ello, es necesaria la integración de ingeniería y tecnología de sistemas cibernéticos a los sistemas eléctricos que ya existen en la actualidad (Vermesan & Friess, 2013)

Lo más complicado del sistema será la red y los sistemas públicos, debido a que se plantean desafíos que operan en el sistema en formas que no estaban destinadas cuando la infraestructura fue construida. Según se van incorporando tecnologías, la seguridad sigue siendo prioridad; preocupa que los sistemas sean más vulnerables y se trata de proteger más los datos interesados. Para ello, también son necesarios elementos IoT integrando sistemas ciberfísicos heterogéneos.

Una red inteligente sería, por ejemplo, la mostrada en la **Ilustración 15**, donde se trata que la energía sea dirigida de manera eficiente por todo el recorrido a través de una nueva red de transmisión. Se trata de distribuir la energía desde las plantas distribuidoras hasta el usuario final con un alto grado de seguridad y una buena calidad de suministro. Para ello, la red deberá estar formada por elementos inteligentes que sean capaces de gestionar los datos y, a través de ellos, decidir el mejor camino para que el paquete energético llegue al destino y en las mejores condiciones.

Ilustración 15. Red de energía inteligente

Fuente (Vermesan & Friess, 2013)

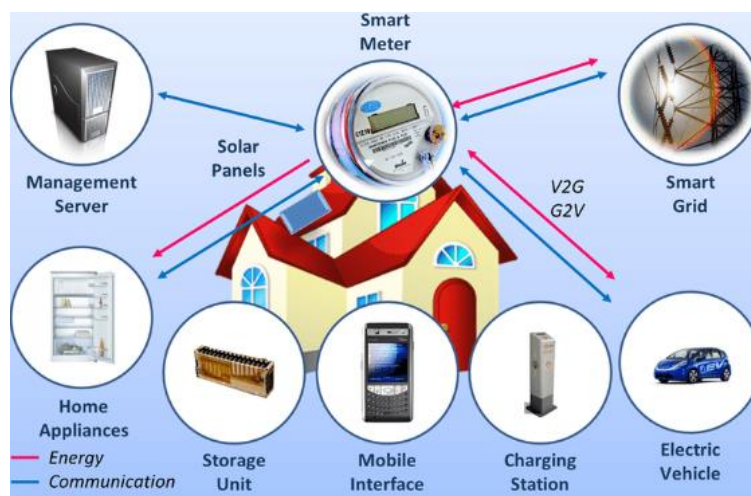


A esto se le conoce como “Internet de la Energía” (IoE), que se puede definir como una infraestructura de red basada en transceptores de comunicación estándar, pasarelas y protocolos que permiten un balance a tiempo real entre lo local y la capacidad global de generación y almacenamiento de energía.

El IoE permite un alto nivel de participación del consumidor. Proporciona una forma innovadora para la distribución de la energía, su almacenamiento, el monitoreo de las redes y la comunicación entre estas. Por ello, la energía se va a poder transferir cuando sea necesario y donde sea necesario a todos los niveles, desde un modo nacional hasta un modo internacional. En la Ilustración 16 se muestra un ejemplo de lo que sería el IoE a pequeña escala.

Ilustración 16. Ejemplo del Internet of Energy

Fuente (Cirani, 2018)



La gran cantidad de energía renovable es un escenario que aprovechará la existencia de una IoT con multitud de sensores y actuadores inteligentes que permiten una comunicación segura. Para conseguir una interacción entre los elementos, la tecnología se basa en unos protocolos de comunicación estandarizados. Además, si se trata de una infraestructura pública, la seguridad de los datos que se transfieran debe ser mayor, es decir, se necesita gran confiabilidad tanto en las redes de energía como en sus componentes.

Para hacer frente a las deficiencias del control jerárquico clásico serán necesarias nuevas estrategias organizativas y de aprendizaje para las redes formadas por sensores. Dependiendo de la conectividad, los elementos de IoT serán ventajosos para la disipación de la energía. A través de estos elementos se consigue un filtrado y análisis de una gran cantidad de datos, y permiten el diseño de sistemas flexibles, fiables y seguros que trabajen a tiempo real.

A continuación, se exponen unos retos de investigación para mejorar el Internet de la Energía y las redes inteligentes (Vermesan & Friess, 2013):

- Conseguir una comunicación completamente segura y que los elementos doten de seguridad también a la red.
- Se necesitan sensores y actuadores inteligentes y robustos que permitan un gran ahorro de energía.
- Es necesario que los datos sean anónimos ya que así se conseguirá mayor privacidad de ellos y una mayor seguridad.
- El procesamiento masivo de datos y su filtrado para evitar su acumulación en la red.
- Son necesarios modelos en tiempo real para conseguir diseños confiables de sistemas heterogéneos, es decir, técnicos, económicos, ambientales, etc., y así también poder detectar a tiempo estados críticos de estos sistemas.
- Es necesario que las redes eléctricas sean capaces de reaccionar de manera correcta y rápidamente ante los imprevistos o variaciones en el suministro de electricidad procedente de fuentes de energía renovables como la eólica o la solar.

2.4.3. *Smart transportation and mobility* (Transporte y movilidad inteligente)

Una nueva aplicación del Internet de las Cosas será la conexión de los vehículos a internet. Esta aplicación, junto a la anterior de IoE, abrirá un mundo de posibilidades para conseguir un transporte y una movilidad inteligentes aportando nuevas oportunidades a las personas. A su vez, se crearán nuevos mundos inteligentes y móviles que garantizarán mayor seguridad y convivencia a los usuarios de los vehículos.

De esta manera, están llegando cada vez más rápido los vehículos autónomos, que constituyen un reto para la sociedad en aspectos como la seguridad, confiabilidad y

previsibilidad. En la actualidad, hay dudas de cómo será la convivencia de los vehículos controlados por humanos y los vehículos completamente autónomos, ya que es difícil de comprender los efectos que tendrán los segundos sobre los primeros (Vermesan & Friess, 2013).

En los vehículos autónomos la seguridad será una de las cuestiones más importantes. En el caso de estos vehículos la seguridad no recaerá tanto en lo físico del vehículo sino más en la parte lógica. De esta manera, los sistemas conectados del vehículo se vuelven más complejos y las interacciones entre los elementos inteligentes del vehículo serán mayores.

Hablar de Internet de las Cosas en un vehículo o en el contexto de la automoción no es referirse a un escenario en concreto, si no que se pueden distinguir varios escenarios como los siguientes (Vermesan & Friess, 2013):

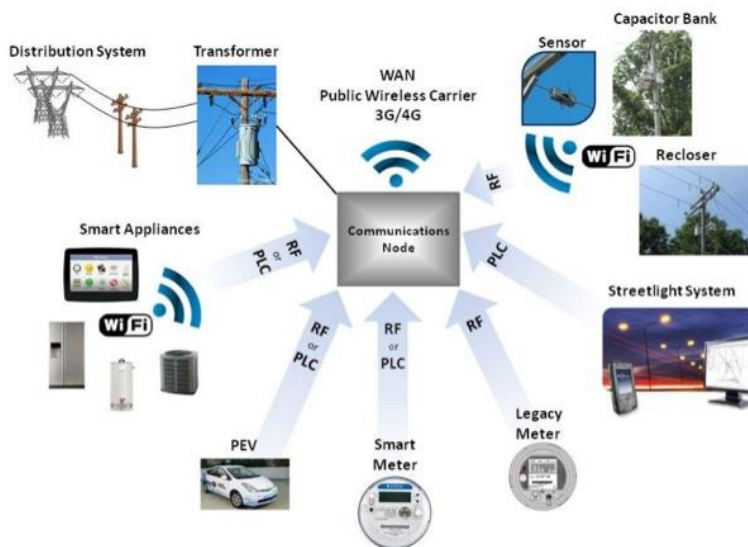
- En cuanto a la carga el proceso, tiene que estar controlada mediante unos estándares de tensión, potencia, etc. Este proceso debe realizarse con un sistema de control instalado en la estación de carga o en el propio vehículo.
- Los componentes del vehículo pueden utilizar la energía para el propio vehículo o también como medio de almacenamiento.
- El IoT está adjunto a la parte del control del vehículo. Los sistemas internos del vehículo monitorean lo que sucede en este, pero también pueden informar al centro de servicios para la realización de mantenimientos preventivos, diagnósticos, disponibilidad de repuestos, ... Para ello, los datos recopilados por los sensores de abordo son dirigidos a una unidad central que, a través de internet, lo comunica al servicio central del vehículo.
- Por medio del IoT también se podrá controlar y gestionar el tráfico en las vías. De esta manera, los automóviles serán capaces de organizarse y evitar atascos, lo que contribuye a optimizar el uso de la energía. Si esto se suma a las ciudades inteligentes, donde los vehículos puedan comunicarse entre sí y con la infraestructura, el tráfico disfrutará de mayor seguridad y menos accidentes.
- Los fabricantes de los coches, por tanto, serán los encargados de facilitar su movilidad. Por medio del IoT se pretende ofrecer a los usuarios soluciones óptimas para ir desde un punto origen hasta un punto destino, además de informar de la situación de tráfico y aparcamiento en ese momento puntual. De esta manera, se pueden ofrecer soluciones al usuario sobre moverse con su propio vehículo o en transporte público, además de poder reservar por medio del IoT lo que se desee en una Smart city.

Los escenarios definidos anteriormente no son independientes entre sí, sino que están relacionados unos con otros, es decir, se combinan para ser más potentes. Estos sistemas adquieren información tanto del usuario (posición, destino...) como información de a bordo (el estado del vehículo, neumáticos, etc.) y, además, interactúan con sistemas externos como el tráfico, la gestión de los aparcamientos, la gestión de los vehículos compartidos o la electricidad (Vermesan & Friess, 2013).

También hay que contar con los sensores inteligentes instalados en las carreteras y en las infraestructuras donde sea necesario el control del tráfico. Estos sensores recogerán datos sobre el estado de las carreteras, el tráfico, las condiciones meteorológicas, etc. Estos elementos son los encargados de enviar la información a los sistemas que hemos mencionado anteriormente que están integrados en los vehículos. Por tanto, es necesario que la comunicación sea fiable y segura y así poder conseguir una optimización del flujo de tráfico y de energía por medio de un sistema similar al representado en la **Ilustración 17** (Vermesan & Friess, 2013).

Ilustración 17. Comunicación por medio de IoT

Fuente (Fehrenbacher, 2011)



Estos vehículos serán capaces de tratar información relacionada con posiciones, destinos, horarios, el día a día de los usuarios de estos, etc. Por ello, es necesario que la privacidad de los usuarios sea de gran prioridad en este tipo de comunicaciones. De esta manera, será primordial que, además de que las rutas de comunicación sean seguras, se garantice el anonimato de los datos personales de cada usuario para aumentar su seguridad y privacidad. Esta necesidad conduce a algunos retos de investigación:

- Es necesaria una comunicación segura entre vehículos y entre el vehículo y la infraestructura.
- Se procurará ahorrar energía mediante los sensores y los actuadores que se instalen en los vehículos y en las infraestructuras.
- La privacidad de los usuarios es primordial; por eso, se utilizarán tecnologías que aborden el anonimato de los datos de los usuarios.
- El sistema también participa debido a su inteligencia local.
- Es necesario el seguimiento de los elementos que sean críticos en el sistema para poder prevenir fallos y anomalías detectando estos a tiempo.
- La tecnología es la encargada de la autoorganización de las infraestructuras y de los cambios que deben producirse.
- El intercambio de datos entre las infraestructuras y los vehículos debe alcanzar un nivel de confiabilidad adecuado.

2.4.4. *Smart Home, Smart Buildings and Infrastructure (Casa, edificios e infraestructuras inteligentes)*

Mediante la conexión WiFi ha progresado la automatización en los hogares ya que esta ha llegado a televisores, frigoríficos, dispositivos móviles, etc. Esto se ha producido debido a la gran cantidad de dispositivos que forman parte de la IP del hogar como los teléfonos inteligentes las tablets, etc. De esta manera, es posible controlar los dispositivos que estén conectados a través de la red (Vermesan & Friess, 2013).

Los consumidores tienen acceso a la electrónica conectada a la red mediante aplicaciones de IoT. Asimismo, muchas empresas valoran la posibilidad de integrar esta automatización del hogar a edificios enteros para conseguir así monitorizaciones energéticas, sanitaria, ..., o poder tener información sobre el entorno de la vivienda, lo que supondría una mayor seguridad para los inquilinos de la construcción. En la **Ilustración 18** podemos apreciar un ejemplo de una Smart Home.

Ilustración 18. Smart Home

Fuente (SHW WEB TEAM, 2018)



Las aplicaciones IoT utilizan los sensores que están instalados por todo el edificio para recopilar información sobre las condiciones en las que se encuentra el edificio. Estas condiciones llegan al dueño a través de su Smartphone, después de ser analizados todos los datos en una nube para ayudar a los administradores a gestionar lo que sucede en el edificio en cada instante con la máxima eficiencia posible.

La energía dentro de los edificios también es importante gestionarla. Para ello, se utilizan redes de sensores (WNS), que realizan una gestión inteligente de esta, lo que da más comodidad a los ocupantes y, además, reduce la demanda de energía. Esta reducción del gasto de energía supone beneficios económicos para el propietario y un beneficio medioambiental para el planeta.

Esta energía es beneficiosa y fácil de manejar por los usuarios de los edificios, por los encargados de la administración de los mismos y por los encargados de su mantenimiento. Controlar la energía a través de internet presenta la oportunidad de acceder a los edificios mediante sistemas de información y control a través de ordenadores o smartphone desde cualquier ubicación del planeta. Estas personas tendrán la oportunidad de actuar sobre esta información (Vermesan & Friess, 2013).

La gestión de energía produce espacios de trabajo más productivos y saludables y edificios más estables. Los sistemas de gestión son administrados por gerentes que se encargan de su adquisición y uso en el edificio por medio de Intranets. Esto provoca una reducción del coste de energía y un aumento de la confiabilidad de las redes de sensores, por lo que IoT también es necesario para la gestión inteligente de los edificios.

2.4.5. *Smart Factory and Smart Manufacturing (Fábrica y fabricación inteligentes)*

El Internet de las Cosas desempeña un importante papel en el ámbito de los sistemas de fabricación, siendo capaz de acceder a dispositivos y máquinas mejor diseñadas. El IoT presentará sistemas de fabricación digitalizados conectando las fábricas de producción a nuevas aplicaciones, es decir, a una red inteligente que permita una mayor agilidad y flexibilidad dentro de los sistemas de producción. Por ello, los sistemas de producción son nuevos lugares donde el IoT actuará de manera eficiente.

Uno de los primeros movimientos que se debe dar para alcanzar una fábrica inteligente será permitir el acceso a los sistemas de fabricación a todas las partes interesadas, ya sean externas o externas. De esta forma, los proveedores de las herramientas de producción, los encargados de la logística de producción o el personal de mantenimiento tendrán acceso al sistema productivo. De este modo, se acabaría un poco con la pirámide cerrada de jerarquía de las fábricas.

Asimismo, los servicios y aplicaciones del sistema no estarán estrictamente vinculados al sistema físico si no que se ejecutarán en un mundo físico compartido. Se incrementará el espacio para la innovación de la misma manera que se aumentará el grado de magnitud de aplicaciones que se integrarán para ser utilizadas desde cualquier smartphone, lo que permitirá aplicaciones con una interfaz clara y estandarizada para acceder al hardware integrado desde varios tipos de aplicaciones (**Ilustración 19**).

Ilustración 19. Aplicación de una Smart Factory

Fuente (Shutterstock, 2018)



De esta forma, integraremos las TIC en los sistemas productivos. Los sensores, los actuadores y la unidad de producción deben tener acceso y ser gestionados de la misma forma, por lo que es necesario que posean interfaces y tecnologías similares. También es necesaria una buena administración y organización de las aplicaciones del IoT que garantice una ejecución en paralelo de todas ellas.

Como en las aplicaciones anteriores, se proponen unos retos asociados a la implementación del Internet de las Cosas en las fábricas. Los sistemas deben integrarse en la red y producirse una interoperabilidad en los sistemas de energía; esto lleva asociados unos riesgos y dificultades. Es necesaria una gran inversión para conseguir una fabricación inteligente y producir cambios dentro de la estructura de la fábrica y en la forma de fabricar.

El mayor problema para la incorporación y la integración de la tecnología será la edad de los sistemas de producción, ya que las fábricas suelen estar dotadas de equipos antiguos que todavía son útiles. Será necesaria una reequipación de los sistemas ya que una planta nueva con sistemas adaptados a aplicaciones de IoT es muy difícil y cara (Vermesan & Friess, 2013).

2.4.6. *Smart Health* (Salud inteligente)

Hoy en día existen en el mercado gran cantidad de dispositivos de monitorización de la salud que están compuestos por diversas arquitecturas. Existen varios dispositivos capaces de proporcionar datos a través de aplicaciones relacionados con la salud como, por ejemplo, las pulsaciones que tiene una persona a tiempo real o si una persona se encuentra en un estado de emergencia, que nos permiten llevar una vida más sana y son beneficiosas para nuestra salud (Vermesan & Friess, 2013).

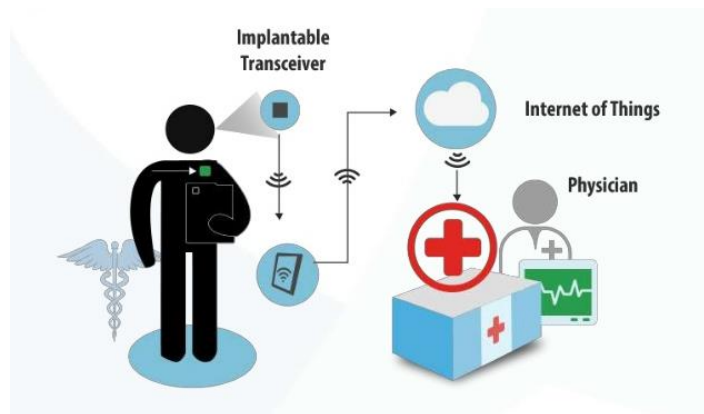
Es necesario que las aplicaciones que monitorean la salud sigan unos requisitos: necesitan recopilar datos a través de sensores que están conectados a los dispositivos y deben admitir varios interfaces de usuario y pantallas; también deben permitir conectarse a la red para acceder a las infraestructuras de los servicios; por último, tienen requisitos como la baja potencia, la robustez, durabilidad, precisión y fiabilidad.

Las aplicaciones IoT relacionadas con la salud están ofreciendo servicios de asistencia para realizar actividades diarias y protección, sobre todo para personas con necesidades de asistencia, permitiendo el acceso a sistemas médicos y de emergencia, y facilitando un apoyo rápido a la salud. El objetivo principal es mejorar la salud de estas personas y poder evitar costes y esfuerzos médicos proporcionando la asistencia médica cuando sea necesaria realmente en el tiempo oportuno (Ilustración 20).

Los dispositivos médicos no han sido diseñados para interoperar con otros dispositivos; por ello, requieren avances que sean capaces de comunicarse por medio de las redes con los dispositivos de los usuarios. Esta interoperabilidad se trata de un circuito cerrado por donde circulan los datos de cada paciente y el estado en el que se encuentra, por lo que se precisa un alto grado de privacidad y seguridad. Estas tecnologías deben estar diseñadas de tal manera que sea fácil la capacitación y coordinación del paciente.

Ilustración 20. Ejemplo de dispositivo de Smart Health

Fuente (Idris, 2017)



Con las aplicaciones del IoT al mundo de la salud, la ingeniería ha convertido el cuidado de las personas y su salud en un tipo de industria donde la información de los pacientes llega a la asistencia sanitaria y esta debe actuar de la siguiente manera (Vermesan & Friess, 2013):

- Es necesaria una interfaz estandarizada de los sensores y una plataforma que cree un mercado de innovaciones bioquímicas para la salud.
- Deben proporcionar un alto grado de automatización para la toma, el procesamiento y el análisis de la información que les llega.
- Los datos llegan a tiempo real a través de las redes. Los médicos deben estar disponibles al otro lado de la red mediante un software preparado para ello.
- Se reutilizarán los dispositivos de salud en el hogar y los dispositivos profesionales para tener un menor coste en estos dispositivos.
- Los datos deben poderse intercambiar entre todos los dispositivos que estén autorizados ya sea en las clínicas, desde los hogares, en las ambulancias, en el hospital, etc., sin que se produzca una transferencia manual de estos datos.

2.4.7. Seguridad y seguimiento del agua y los alimentos

Una de las aplicaciones del IoT más importantes para el futuro será el seguimiento de los alimentos y del agua desde el lugar de producción hasta la llegada al consumidor. Dicho agua y alimentos son considerados los recursos naturales más importantes del planeta ya que son esenciales para la supervivencia de los seres vivos. Cada alimento es producido en una zona geográfica específica y el agua dulce en manantiales y montañas por ello están muy valorados y se pretende realizar un seguimiento de estos.

Esta aplicación ya se ha utilizado en la actualidad con la carne de bovino debido a que, a finales de los noventa, apareció la enfermedad de las vacas locas. Los fabricantes y las grandes cadenas de supermercado pretenden asegurar a los consumidores de dicha carne que puede ser consumida sin ningún tipo de riesgo. Este tipo de seguimiento es

complicado en aquellos alimentos de los no se posee información de su proceso de producción.

Para controlar el seguimiento de los alimentos, las aplicaciones de IoT deben tener un marco de desarrollo específico (Vermesan & Friess, 2013).

- Los alimentos controlados mediante internet necesitan proporcionar valor mediante un buen servicio a los clientes, además de tener un precio que permita su consumo formando, a su vez, parte de un sistema de seguimiento.
- El servicio de IoT está formado por los alimentos, sensores, sistemas que permiten la comunicación, servidores, almacenamiento, análisis, servicios finales del usuario, desarrolladores, hardware, fabricantes y proveedores que deben estar relacionados entre sí para lograr que funcione correctamente, además de tener un fácil uso para los clientes.
- Los sistemas de seguimiento deben proporcionar a los consumidores finales una interfaz de programación de aplicaciones (API, *Application Programming Interface*) para realizar un buen uso de estos. Las API permiten innovar y crear desarrolladores por medio de los datos del sistema.
- Los desarrolladores son los encargados de la implementación del IoT en las plataformas. Utilizan diferentes herramientas para desarrollar soluciones que luego funcionen en los dispositivos de los consumidores.
- La seguridad es otro de los puntos más importantes, ya que los alimentos que estén conectados están expuestos a más ataques y retos dentro del mundo IoT.

También existen retos para la investigación sobre las aplicaciones de IoT a los alimentos y el agua potable. Entre ellos encontramos (Vermesan & Friess, 2013):

- Son necesarios diseños de mecanismos seguros para la prevención de manipulaciones, rentables para realizar un seguimiento de los alimentos y el agua desde su producción hasta su consumo, y que informen si un alimento es nocivo o se encuentra en mal estado.
- Realizar un monitoreo seguro de los procesos de producción que proporcione suficiente información que dé confianza a los consumidores. Asimismo, los detalles de los procesos de producción pueden ser considerados propiedad intelectual que no debe ser revelada.
- Asegurar la confianza de los consumidores y que el intercambio de datos entre las aplicaciones y las infraestructuras sea seguro, evitando así datos falsos y engañosos que puedan afectar a la seguridad de los consumidores o crear daños económicos a las partes interesadas.

2.4.8. Detección participativa

Esta aplicación de IoT consiste en la realización de recomendaciones entre comunidades de personas para ir a comer a un restaurante, mecánicos para los automóviles, películas, etc.; es decir, para cosas comunitarias del día a día. Mientras que en el pasado estas

aplicaciones se realizaban con el “boca a boca”, hoy en día se puede conseguir por medio de las redes sociales, a tan solo un clic de distancia.

Los teléfonos que todas las personas llevan en su bolsillo están formados por sensores, actuadores, cámaras, micrófonos, acelerómetros, termómetros, altavoces, pantallas y una gran cantidad de elementos que también les hacen inteligentes y capaces de estar conectados con cualquier punto del mundo y, además, están al alcance de la mayoría de las personas. Estos smartphones también son capaces de dotar de una detección participativa.

Estas aplicaciones de detección participativa las encontramos también en los automóviles nuevos. Al igual que los móviles y muchos otros aparatos toman instantáneas del entorno de forma inmediata, lo que hace que sea posible que, mediante la combinación de estos datos instantáneos, se cree una imagen del mundo físico de manera inteligente y dar servicios al usuario como las Smart Cities.

Las aplicaciones de detección participativa también presentan varios desafíos que deben resolverse (Vermesan & Friess, 2013):

- Se deben realizar algoritmos para estas aplicaciones teniendo en cuenta las condiciones en las que se toman las observaciones. Por ejemplo, no es lo mismo tomar la temperatura con un teléfono móvil en una mesa que en un bolsillo en plena calle.
- Se deben diseñar mecanismos que sean robustos para el análisis y procesamiento de los datos recolectados a tiempo real. De esta manera, será más fácil la toma de decisiones a partir de esos datos.
- Los datos que se han tomado deben tener cierta confiabilidad asegurando, que las observaciones no están alteradas y que las mediciones son reales. La correcta autenticación de estos datos es una importante función de estas aplicaciones.
- Las personas que utilizan las observaciones deben tener total privacidad de sus datos.
- Se utilizarán mecanismos completamente eficientes para distribuir la información necesaria entre las comunidades de personas.

2.4.9. IoT y las redes sociales

Gracias a las redes sociales, sus usuarios se pueden relacionar fácilmente mediante conexiones con sus familiares o amigos. Lo mismo está pasando con el IoT; de la misma manera que las redes sociales, el usuario de las aplicaciones IoT tiene la posibilidad de tener una relación con el mundo real. De esta manera, se han creado y se seguirán creando aplicaciones sofisticadas de IoT que nos permitan estar al tanto de lo que sucede en cualquier punto del planeta y controlar partes de este.

La participación de los usuarios en las aplicaciones de IoT es cada vez mayor. Asimismo, se ha conseguido un éxito cada vez mayor entre las aplicaciones de detección. Por ello, en el futuro será necesaria una base de datos mucho mayor con más

dispositivos conectados a internet. También seguirán creciendo los objetos conectados a internet, dando lugar a un crecimiento de las iteraciones y las aplicaciones relacionadas con ellos (Vermesan & Friess, 2013).

Capítulo 3. El Big Data y la Fabricación

3.1. Introducción

Antes de comenzar a presentar distintas aplicaciones del IoT en el contexto del Lean Manufacturing, conviene conocer brevemente qué es el Big Data, ya que está asociado a las agrupaciones de datos que se han descrito en el capítulo del Internet de las Cosas. Cuando se habla de Big Data se describen grandes agrupaciones de datos complejos, que crecen a gran velocidad y que son difíciles de capturar, analizar, gestionar y procesar por medio de tecnologías y herramientas convencionales (PowerData, 2015).

Para considerar un conjunto de datos o una base de datos como Big Data, no existe una medida de volumen concreta. Los profesionales en el tema a día de hoy consideran Big Data a conjuntos de datos que oscilan desde 30-50 Terabytes hasta varios Petabytes. Estas medidas nunca han estado definidas, es decir, a lo largo de los años las medidas van cambiando porque los conjuntos de datos son cada vez mayores.

El origen de los datos es complejo debido a su naturaleza, ya que la mayoría de los datos son generados por tecnologías modernas, sensores conectados a dispositivos, máquinas, vehículos, redes sociales, smartphones, dispositivos de localización, etc., es decir, estos datos son producidos por dispositivos relacionados con el Internet de las Cosas.

Las empresas consideran el Big Data como una herramienta muy útil e importante. A través de los datos generados se contestan a preguntas que las empresas ni se habían propuesto pero que les hace mejorar en muchos aspectos; en otras palabras, puede llegar

a ser para estas un punto de referencia debido a la gran cantidad de información que almacenan los datos, siendo esta utilizada por la empresa de la manera más adecuada (PowerData, 2015).

También, gracias al análisis y procesamiento de la información que está asociada a los datos, las industrias identifican los problemas de una manera más fácil. Gracias a ello, las organizaciones se mueven de manera eficiente, más rápido y sin problemas aparentes. En caso de aparecer problemas se crean áreas para aislarlos de tal manera que no afecten a los beneficios o reputación de la empresa.

Los organizadores de las empresas utilizarán las agrupaciones de datos para aprovechar nuevas oportunidades que les hagan crecer. De esta manera, se realizarán negocios más inteligentes y operaciones más eficientes, lo que conllevará a la empresa a obtener mayores beneficios y una mayor satisfacción de los clientes. Las empresas tienen varias formas de llegar a este punto.

Uno de los objetivos principales de las empresas es la reducción de los costes. Los organizadores de las empresas utilizan grandes tecnologías de datos y análisis basados en las nubes donde estos se almacenan para conseguir grandes ventajas referidas a los costes de las organizaciones y, además, son capaces de encontrar nuevas oportunidades eficientes de realizar negocios.

Otra de las metas de las organizaciones es ser rápidos y mejores en la toma de decisiones. Las agrupaciones de datos compaginados con la capacidad analítica de las firmas permiten a estas tomar las mejores decisiones en base a lo que han aprendido con la experiencia y a la información que poseen dichos datos.

Un importante propósito del Big Data para las empresas es el análisis de los datos que permiten que el cliente tenga una mayor satisfacción con la empresa. Para ello, la organización se encarga de analizar y procesar la información que conllevan las agrupaciones de datos para conseguir nuevos productos y servicios que satisfagan mejor las necesidades de los clientes (PowerData, 2015).

A medida que los años pasan el Big Data tiene un mayor impacto en el ámbito industrial. Uno de los avances que más ha sorprendido en los últimos años ha sido la capacidad de la máquina para aprender y el potencial que tiene para optimizar operaciones a tiempo real. La base de este avance en las industrias será el Big Data y la inteligencia artificial.

Los datos en las industrias son una parte muy importante. Por eso, se ha comenzado a emplear Big Data en las herramientas Lean, porque gracias a la combinación de los datos que se obtienen de las máquinas y las herramientas Lean se consiguen grandes beneficios. Esto les permite a los profesionales centrarse en unas prioridades beneficiosas para la compañía. Por ello, podemos diferenciar algunos casos de cómo afecta el IoT, y en particular el Big Data, a las industrias o Lean Manufacturing.

3.2. Desafíos y beneficios del Big Data en la fabricación

Como hemos visto anteriormente, el Big Data ha adquirido gran importancia e influencia en todo tipo de industria. Actualmente, la generación de datos en estas está creciendo de forma exponencial, por lo que las empresas están invirtiendo para tratar del mayor número de datos posibles ya que esto les reportará un gran beneficio si estos datos son bien tratados. Además, aparecen nuevos desafíos, gracias al Big Data, que trataremos a continuación (Bogdan, 2013).

Dentro del Big Data se distinguen tres atributos principales, lo que se conoce como las tres “V” del Big Data que son: el volumen, la variedad y la velocidad de los datos. El primero se refiere a la cuantía de datos que una empresa se puede encontrar, el segundo a los diferentes lugares de donde pueden provenir los datos como flujos, medios sociales, textos, etc., y el tercero a la velocidad a tiempo real a la que se analizan estos.

Existen grupos de empresas famosas, entre los que podemos destacar Google, eBay, LinkedIn o Facebook, que se han creado desde su origen en torno a grandes agrupaciones de datos. Dichas empresas comenzaron con un gran volumen de datos donde su único camino viable era la implantación de tecnologías nuevas en su momento para la gestión de los datos (Bogdan, 2013).

A día de hoy, todas las grandes empresas basan su negocio en los datos, lo que antiguamente suponía un problema para las firmas. La mayoría de grandes firmas mundiales, independientemente de su ejercicio principal, han dedicado grandes sumas de dinero al análisis de los datos que son capaces de producir dentro de las factorías con el fin de aumentar sus beneficios y crecer dentro de sus ámbitos.

Los datos se pueden clasificar en función de la dimensión de la estructura de datos y en función de la fuente de datos. En función de la dimensión distinguimos los datos: estructurados, que proceden de campos fijos, bases de datos o hojas de cálculo de la empresa; los no estructurados, que aparecen en textos, audios o videos; y los semiestructurados, que utilizan etiquetas o marcadores para ser capturados de documentos.

Por otra parte, según la fuente de los datos, podemos distinguir entre datos internos y datos externos. Los datos internos son los que se pueden recopilar dentro de la propia empresa que los utiliza y los datos externos son recopilados de fuentes externas como proveedores o datos de terceros (Bogdan, 2013).

El Big Data, o lo que es lo mismo, las grandes agrupaciones de datos se han convertido en un factor clave para la competitividad de unas empresas con otras. Gracias a los grandes volúmenes de datos generados, las empresas han sido capaces de aumentar su margen de beneficio en un gran porcentaje debido a las grandes oportunidades de crecimiento.

Además, gracias al Big Data se han generado categorías de empresas totalmente nuevas; por ejemplo, firmas encargadas principalmente de agregar y utilizar datos de la

industria. Muchas de estas empresas están posicionadas en lugares donde se generan grandes flujos de información para tener mayor facilidad a la hora de capturar y analizar datos sobre productos, servicios, clientes, proveedores y todo lo que pueda estar relacionado con el aumento del beneficio de las compañías.

Cabe destacar la importancia de que las empresas se tomen en serio los datos generados por ellas mismas para su posterior análisis. Dentro de ámbito industrial, tanto los competidores antiguos como los más nuevos aprovechan estrategias basadas en los datos para innovar, competir y adquirir valor. Los datos pueden llevar a las empresas a diseños de productos que cubran las necesidades de los clientes mientras sus competidores aun no lo han conseguido, lo que supone para ellos un gran avance.

Además de la generación de datos, muchas empresas hace unos años consideraron venderlos a otras que quizá pudiesen sacar más valor de ellos. Aproximadamente, una cuarta parte de las empresas a nivel mundial vendió sus datos generados, reportándoles beneficios multimillonarios, lo que quiere decir que muchas empresas se beneficiaron de sus propios datos, pero otras muchas lo hicieron con los datos de otras empresas pertenecientes a su ámbito (Bogdan, 2013).

Para que unas compañías puedan vender datos otras compañías deben comprar, lo que para ellas supondría una inversión en grandes cantidades de datos. En el año 2012 invirtieron en Big Data muchas empresas y gracias a los resultados obtenidos, y a que los datos generaban beneficios, en 2015 invirtieron un 75% más y a día de hoy el Big Data es la base principal de la mayoría de las grandes compañías.

Uno de los principales usuarios y más tempraneros en la utilización del Big Data fue el sector manufacturero. Los grandes volúmenes de datos se intensificaron en la fabricación con el fin de mejorar la calidad y la eficiencia aprovechando las tecnologías de la información y la automatización para diseñar, fabricar y distribuir los productos a través de la informática.

En los años 90, las empresas dedicadas a la manufactura de todo tipo de artículos multiplicaron sus beneficios anuales gracias a las mejoras operativas con las cuales aumentaron la eficiencia en sus procesos productivos y, además, mejoraron la calidad de los productos que fabricaban.

El sector de la manufactura ha sido muy importante durante su larga vida en muchas economías. Debido a esto, las cadenas de valor de la fabricación están cada vez más globalizadas y fragmentadas, lo que supone que las compañías cada vez tienen más complicado mantener sus ritmos de crecimiento de la productividad.

También influye el cambio que ha sufrido el planeta con las nuevas tecnologías y la globalización, por lo que las empresas han tenido que aprovechar los grandes volúmenes de datos para seguir logrando altos niveles de crecimiento en la producción, impulsando la eficiencia de la empresa y diseñando y comercializando productos de mayor calidad gracias al Big Data (Bogdan, 2013).

Las grandes compañías, hoy en día, disponen de grandes cantidades de datos con las que poder trabajar. Las empresas dedicadas a fabricación son capaces de almacenar

datos de un amplio rango de fuentes entre las que podemos apreciar las distintas máquinas o robots que se utilizan para la fabricación mediante un control de procesos, sistemas de gestión de las cadenas de suministros, sistemas que monitorean los productos que han sido comprados a los proveedores o vendidos a los clientes, etc.

Además, se espera que los datos generados sigan creciendo exponencialmente con el paso de los años. Los sistemas tecnológicos implantados en las factorías a lo largo de las cadenas de valor son capaces de monitorear los datos necesarios de cualquier punto de la empresa, aunque esté dividida en varias factorías o almacenes.

Dentro de la fabricación se han identificado cuatro grandes palancas relacionadas con los grandes volúmenes de datos, que pasamos a discutir a continuación (Bogdan, 2013).

3.2.1. Investigación, desarrollo y diseño de productos

Es la primera de las palancas que nos encontramos. El Big Data ofrece a las compañías la oportunidad de acelerar el desarrollo de sus productos. Los diseñadores son capaces de centrarse en los puntos más importantes y más valiosos del producto basándose en los datos que se han generado por medio de los clientes.

De esta manera, el Big Data ofrece a las entidades la posibilidad de minimizar los costes de producción a través del aprovechamiento de los conocimientos que tiene la entidad sobre los consumidores, para reducir costes de desarrollo y poder centrarse en los puntos más importantes del producto de la siguiente manera.

En primer lugar, *la empresa gestionará el ciclo de vida del producto*. A lo largo de los años las empresas han implementado sistemas capaces de gestionar el ciclo de vida de los productos, incluyendo diseños asistidos por ordenador, ingeniería, herramientas de gestión del desarrollo, etc.

Esto ha hecho que los grandes conjuntos de datos se hayan quedado atrapados en esos sistemas. De esta forma, las entidades han creado más valor estableciendo plataformas para que gestionen la vida del producto integrando datos de los diferentes sistemas que ayuden a un desarrollo de estos eficaz y coherente.

En segundo lugar, *la empresa diseñará valor*. Esta palanca está relacionada directamente con los clientes. A lo largo de la historia las empresas han obtenido directamente información investigando a través de los clientes para mejoras en el diseño de los productos.

De esta manera las mejores firmas realizan análisis en base a lo que sus clientes están dispuestos a pagar por los productos que ellas fabrican, contando que estos poseen ciertas características que son verdaderamente importantes para el éxito del producto en el mercado

Por último, *la empresa realiza una innovación abierta*. De esta manera, cada una de ellas intenta impulsar la innovación y desarrollar productos que respondan a las

necesidades de sus clientes. Para ello, invitan a estos a presentar ideas y, en colaboración con expertos externos, las utilizan para el desarrollo de nuevos productos (Bogdan, 2013).

3.2.2. Cadena de suministro

La segunda de las palancas de los grandes volúmenes de datos en la fabricación está relacionada con los bienes de consumo, en los que se pretende mejorar el pronóstico de demanda y la planificación de la cadena de suministro. Las empresas encuentran en esto un problema de volatilidad de la demanda causado por las presiones de sus clientes minoristas para conseguir mayor flexibilidad y capacidad de respuesta o por las promociones y precios estratégicos que han aumentado el número de problemas.

Por ello, los fabricantes se han visto obligados a mejorar sus previsiones de demanda y planificación de la oferta mediante el uso del Big Data. Como se ha citado antes, las empresas son capaces de integrar datos de otras fuentes como, por ejemplo, datos de minoristas, de promoción, de lanzamiento (artículos que deben eliminarse), de inventario (niveles de existencias, ventas), etc.

Gracias a los grandes volúmenes de datos de la cadena de valor las compañías han conseguido suavizar los pedidos puntuales. De esta manera, los beneficios se extienden a lo largo de todo el proceso productivo haciéndolo un proceso más eficaz y aumentando en gran cantidad su nivel de servicio (Bogdan, 2013).

3.2.3. Producción

En tercer lugar, en las palancas del Big Data nos encontramos la producción. Los grandes volúmenes de datos han facilitado una mayor eficiencia en el proceso productivo por medio de técnicas basadas en la simulación gracias a los datos obtenidos en los sistemas de producción.

Gracias al IoT los fabricantes han utilizado gran cantidad de datos de los procesos de fabricación tomados a tiempo real mediante sensores colocados a lo largo del sistema productivo con diferentes funciones como el rastreo de las piezas, la supervisión de la maquinaria o la guía de las operaciones reales.

Dentro de la fabricación se encuentran las *SmartFactory*. En ellas, los fabricantes han desarrollado los productos a partir de métodos computacionales avanzados que permiten a las grandes firmas crear modelos digitales simulados de los procesos de fabricación y así poder aumentar la eficiencia del proceso y la calidad de los artículos finales.

Estas *Smartfactory* se han producido gracias a la vinculación entre la producción ajustada y la Industria 4.0. En esta vinculación surgen nuevos conceptos a estudiar; en concreto tres, los cuales son los componentes principales de estas fábricas inteligentes,

que son: los productos inteligentes, las máquinas inteligentes y los operadores inteligentes (Bogdan, 2013).

Los *productos inteligentes*, o *SmartProducts*, son los encargados de recopilar información que se utiliza para los análisis de las acciones que llevan a cabo los sensores y actuadores del sistema productivo. Se puede decir que tienen un estilo de vida que les caracteriza en base a sus propiedades.

Su objetivo principal consiste en cambiar el papel de la pieza de trabajo de una parte pasiva a una parte activa del sistema. En los sistemas creados para trabajar con productos inteligentes, estos poseen una especie de memoria que es capaz de almacenar datos operativos y requisitos de forma individual. Estos productos también son capaces de pedir los recursos que necesitan en cada momento y coordinar todos los procesos de producción.

Son artículos adaptables, autoorganizados y proactivos que son capaces de soportar datos e información durante todo el ciclo de vida y permiten realizar una mejora continua. Sus datos permiten la visualización del proceso de producción y un gran flujo de información para los productos elegidos.

Gracias a ello, las empresas que los utilizan tienen la posibilidad de crear un mapa que muestre los residuos que se crean en el proceso, y así poder realizar una planificación estratégica para el futuro. Además, se pueden utilizar como Kanban para controlar otros procesos de producción (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

Además, en los procesos de mejora continua o Kaizen, los productos inteligentes son capaces de recopilar datos del proceso que permiten su posterior análisis durante o después de la producción. A diferencia de la recopilación manual de datos, se tiene la posibilidad de obtener información individualizada de un producto o una línea de producción. Lo que hace una adquisición menos intensiva y más precisa.

Los productos inteligentes contienen información acerca de los Kanban que les permite controlar los procesos de producción. En las fábricas alemanas las estaciones de trabajo tienen una producción autónoma que depende del trabajo que se haya programado. En este caso las producciones controladas por empuje tienen la posibilidad de adaptarse a sistemas de control de los pedidos (Kolberg & Zühlke, 2015).

Por lo que se refiere a las *Smartmachines* o máquinas inteligentes, la forma en que producían las máquinas en el pasado es reemplazada por una auto-organización realizada por elementos de IoT, es decir, conectados a internet. Esto permite que los componentes autónomos e inteligentes se comuniquen entre ellos y, a su vez, tengan la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos.

Muchas máquinas inteligentes poseen un panel inteligente que permite detectar tarjetas Kanban en tiempo real. Además, la velocidad de lectura de estas tarjetas es tan rápida que existen algunos paneles que pueden evitar la detección de otras tarjetas Kanban que no están colocadas en el panel que las corresponde, pero están dentro de unos límites de distancia cercanos.

También se asegura la mejora continua a través de datos de la línea de producción recogidos en las máquinas por medio de actuadores, sensores o vídeos inalámbricos. Los datos recogidos son analizados con el principal objetivo de evitar errores, mediante Poka-Yokes. Además, se puede introducir un método de intercambio de troqueles en líneas de producción completas para asegurar que no existan fallos. (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

La Industria 4.0 apoya la producción ajustada de una producción flexible y modular. Las estaciones de trabajo se basan en interfaces físicas y tecnologías estandarizadas que permiten configurarse de una manera fácil a nuevas líneas de producción. De acuerdo con la herramienta SMED, el tiempo de preparación de estas debe reducirse a menos de diez minutos tanto en las estaciones de trabajo como en las instalaciones completas (Kolberg & Zühlke, 2015).

Por último, el *Operador inteligente o aumentado* es el encargado de reducir el tiempo entre la aparición de un fallo y la notificación de este. Para ello, suelen aplicar el método Andon, que es uno de los principales métodos y más utilizados para el control de la calidad de Jidoka desde el enfoque del Lean Manufacturing. Este se realiza mostrando las luces de señalización en un reloj que permite operar a tiempo real.

La información nos la dan los mensajes de error y las ubicaciones de estos. Las alertas son registradas en bases de datos para poderlas estudiar y conseguir una mejora continua del proceso. En muchos casos cuando los fallos son reconocidos por los elementos de prevención, se inician automáticamente acciones para reparar estas de manera inmediata (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

El reconocimiento de estos fallos que se producen ya no dependerá del empleado. Los sistemas equipados con los sensores adecuados reconocen los fallos y automáticamente activan acciones correctoras de estos errores, lo que genera un gran ahorro de tiempo.

Por otra parte, un flujo de piezas puede ser apoyado por sistemas de asistencia a los empleados. Los empleados reciben información individualizada de su tarea lo que les ayuda en las producciones cronometradas. Un ejemplo de ello sería la realidad aumentada, ya que ha quedado demostrado su éxito en el puesto de trabajo manual, como se observa en la **Ilustración 21** (Kolberg & Zühlke, 2015).

Ilustración 21. Ejemplo de realidad aumentada

Fuente (Kolberg & Zühlke, 2015)



Además, en Alemania, el Centro Alemán de Investigación para la Inteligencia Artificial (DFKI, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz) identificó un componente más, a parte de los *Smartproducts*, las *Smartmachines*, y los operadores inteligentes, que formará parte de la Fabrica Inteligente: el *Smartplanner* o Planificador inteligente.

El Smartplanner se basa en que la producción ajustada pretende tener un flujo de una pieza y una gran variedad de productos, por lo que no es adecuada para producciones individuales de un producto. Los sistemas Kanban, los tiempos de ciclo y los viajes de ida y vuelta de los contenedores y las mercancías se adaptan a los programas de producción que se utilicen por medio del SmartPlanner.

En las estaciones de trabajo, los sistemas ciberfísicos se encargan de mejorar los tiempos de ciclo encontrando el óptimo para la utilización de la mayor capacidad posible de trabajo y para que exista un flujo continuo de mercancías. Esto permite optimizar los procesos de producción en función de los objetivos de la empresa, el tiempo de producción y su eficacia. De esta forma, se puede fabricar tanto en serie, en lotes como en talleres de trabajo.

Para que se garantice la modularidad y la intercambiabilidad de las aplicaciones que se han descrito anteriormente, es necesario un marco que apoye la integración de estas aplicaciones de la Industria 4.0 en la producción ajustada. En un principio el marco global que se creó no consideraba las TIC modernas, lo que era un problema.

Hoy en día no se ha conseguido un marco que describa cómo y dónde se pueden integrar los sistemas ciberfísicos. Este marco sería necesario que tuviese en cuenta la tecnología, los seres humanos y la organización, es decir, que combine los sistemas ciberfísicos con la producción Lean para satisfacer los requisitos (Kolberg & Zühlke, 2015).

Para la obtención de un marco satisfactorio se puede realizar una comparativa de los facilitadores de la Industria 4.0 y los métodos de producción ajustada que existen para ofrecer una visión general de las posibles conexiones entre los dos campos como se muestra en la **Tabla 11:**

Tabla 11. Conexiones Lean-Industria 4.0

Fuente (Kolberg & Zühlke, 2015)

Industria 4.0	Producción Lean	
	Just inTime Método: Sistema Kanban	Jidoka Método: Andón
Operador inteligente	El empleado obtiene información sobre el tiempo de ciclo restante a través de realidad aumentada	Los sistemas informáticos reciben los fallos y los muestra a tiempo real al empleado

Productos inteligentes	Contienen información del Kanban para realizar orientaciones en la producción	-
Máquinas inteligentes	Las máquinas tienen una interfaz estandarizada para enviar y Recibir Kanban	Las máquinas envían los fallos a los operadores inteligentes que llaman a otros sistemas para acciones correctivas
Planificador inteligente	Los sistemas informáticos configuran las líneas de producción y actualizan el Kanban según la nueva configuración	-

Por otra parte, se encuentran todas las operaciones que son accionadas con sensores. Las aplicaciones de IoT han permitido a los fabricantes optimizar operaciones del proceso productivo gracias a la toma de grandes cantidades de datos a tiempo real tomados por sensores instalados en los procesos de fabricación. A través de su control se optimizan las operaciones reduciendo residuos o desperdicios y maximizando rendimientos (Bogdan, 2013).

Una de las mayores inquietudes de las industrias es, precisamente, la producción de desperdicios o residuos, su gestión y el impacto ambiental que estos generan. Por medio de los sistemas de análisis del Big Data, las industrias pueden acceder a oportunidades más eficientes y económicas para su gestión, a fin de reducir los desperdicios producidos (NCtech, 2018).

La filosofía Lean tiene por objetivo fomentar la mejora continua, reduciendo y, si es posible, eliminando los residuos que se produzcan. Para lograrlo, una de las claves es distinguir los procesos que agregan valor y cuáles son desperdicios propiamente dichos (Ilustración 22): el objetivo del Lean es mejorar los primeros y eliminar los segundos (NCtech, 2018).

Ilustración 22. Desperdicios industriales

Fuente (NCtech, 2018)



Existen programas y aplicaciones que persiguen la reducción o eliminación de estos desperdicios industriales. Estos sistemas permiten la simulación de los sistemas productivos y en ella, a través de las herramientas del programa, se pueden predecir, analizar y reducir dichos despilfarros industriales.

Un ejemplo es el impulso de la innovación para hacer una fabricación más eficiente por medio de una planificación, una simulación y un modelado de los procesos de producción. Existen consideraciones en planta como los enfoques de fabricación y el flujo de los materiales utilizados que permiten mejorar la fabricación de los productos.

También se pueden organizar las partes de los sistemas productivos como el personal, las plantas, los equipos, etc., consiguiendo una visión a tiempo real de lo que se hace en cada caso que permite alcanzar un alto grado de operatividad, una mejora en el proceso y reducir desperdicios de sobreproducción, movimientos y corrección.

En definitiva, la tecnología es capaz de mejorar los procesos productivos aplicando aplicaciones IoT a los procesos, haciéndolos más confiables y eficientes. Asimismo, se reducen los despilfarros y desperdicios en las fábricas, lo que hace que el Lean Manufacturing supere una de sus grandes flaquezas (NCtech, 2018).

3.2.4. Marketing y ventas

La última palanca del Big Data que nos encontramos está basada en el Marketing y en las ventas. Muchas empresas utilizan los datos para mejorar las áreas ya descritas, y de para el desarrollo de sus productos. Además, hoy en día es más factible integrar sensores en productos que puedan generar datos cuando el propio cliente los utiliza. Por ello, los fabricantes conseguirán información a tiempo real en cuanto a defectos y ajustes a realizar en el proceso productivo.

Las mayores oportunidades que ofrece el Big Data en el campo de la fabricación y la producción son los análisis de los datos que permiten detectar los defectos de los productos, mejorar la calidad de los mismos y lograr una mejor planificación del sistema productivo.

Hoy en día, para muchos fabricantes el análisis de las ventas para mantener la eficiencia dentro de la fabricación es el principal objetivo de sus inversiones en Big Data. Es preciso entender el comportamiento de los clientes y entregar los productos de la forma más rentable posible. Por ello, la mayoría de las factorías trabajan ya sobre pedido, con fabricación ajustada, para saber qué productos y procesos deben ser eliminados (Bogdan, 2013).

Existe un gran problema cuando los grandes conjuntos de datos afectan a los consumidores o a los usuarios finales, la privacidad. Uno de los principales pilares para

mejorar la eficiencia de las fábricas es la utilización de sensores en los productos finales para la generación de grandes volúmenes de datos.

Para que estos sensores puedan ser utilizados, los consumidores finales serán los encargados de autorizar el control de estos productos. Por ello, los grandes fabricantes tienen la necesidad de abordar este tipo de problemas con los responsables políticos y, sobre todo, comunicarse con los usuarios finales sobre las opciones y la transparencia de sus datos.

Los grandes conjuntos de datos permiten a los fabricantes mejorar la eficiencia de los procesos y la calidad de los productos. Los beneficios se generan sobre todo en la producción de los productos, optimizando los procesos de desarrollo y ensamblaje. Además, se incrementa el valor final del producto gracias al aumento de su calidad y cubriendo mejor las necesidades de los clientes (Bogdan, 2013).

3.3. Mejora en los procesos productivos a través del Big Data

Los fabricantes se han encargado de reducir los despilfarros y la variabilidad de los procesos mejorando la calidad y el rendimiento de los mismos mediante la implementación de herramientas Lean. De la misma manera, las compañías aprovechan los grandes análisis de datos para corregir y mejorar sus procesos productivos reduciendo así los defectos que se encuentren en estos y ahorrando tiempo y dinero.

Aparecen entornos en los que se tratan procesos muy complejos, con muchas variaciones y gran variabilidad, aunque se hayan aplicado herramientas Lean. Debido a este cúmulo de actividades de producción y a la dificultad de corregir los defectos, los encargados de estos procesos necesitan un análisis más detallado de los procesos y para ello utilizan una analítica avanzada (Auschitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014).

Esta analítica avanzada se basa en las estadísticas y herramientas matemáticas que generan gran cantidad de datos que permiten evaluar y mejorar los procesos productivos. Los encargados de las operaciones utilizan estas agrupaciones de datos y datos históricos de los procesos para identificar defectos, relaciones y detalles del proceso y así poder optimizar el rendimiento de este.

Gracias al IoT, a la Industria 4.0 y al Big Data, muchas compañías y encargados de los procesos productivos tienen acceso a gran cantidad de datos a tiempo real que les permiten realizar estadísticas para llevar a cabo mejoras en los procesos. Estos datos aisladamente no sirven de nada, pero agrupados constituyen una importante herramienta para la generación de información y mejora de los procesos.

En muchos casos, las empresas disponen de pocos datos para realizar análisis de los procesos. Por ello, muchas compañías tienen como objetivo principal realizar análisis avanzados para mejorar el rendimiento, lo que conlleva a la necesidad de gran cantidad de datos a su disposición.

La mayoría de las empresas utilizan los datos de los procesos productivos para su seguimiento, pero no como fundamento para mejorar los procesos. Por ello, las empresas necesitan personal e inversión para sistemas que permitan recoger y usar grandes cantidades de datos para lograr la optimización de los procesos.

Los grandes conjuntos de datos son los encargados de aportar información al personal encargado de la toma de decisiones a través de la información recibida. Una manera de recibir los datos será centralizándolos en fuentes para su posterior análisis más fácil, con el objetivo de obtener información y encontrar patrones que faciliten la optimización de los procesos productivos de las empresas.

Existen empresas que tienen largos ciclos de facturación, de años, trimestres, etc., lo que es un problema para la recogida de datos, ya que al ser recopilados durante tanto tiempo no son significativos para las empresas. Por ello, estas empresas tienen como objetivo invertir en sistemas y prácticas que les permitan recopilar mayor cantidad de datos.

Estas inversiones se pueden realizar de manera incremental, es decir, invirtiendo inicialmente en una de las etapas más importantes o que más información aportan de un proceso, con el fin de mejorar obteniendo datos de esta pequeña parte, y a la larga seguir invirtiendo en partes más amplias del proceso, o directamente en todo el desarrollo de la operación para mejorar la producción.

El problema de las empresas es la aplicación de la analítica avanzada. Se trata de una gran inversión a largo plazo, ya que son necesarios años de investigación y aplicación para mejorar los procesos. Además, puede llegar a ser una herramienta crítica para mejorar los rendimientos debido a la complejidad y variabilidad de los procesos productivos (Auschwitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014).

De esta manera, las empresas que consiguen desarrollar optimizaciones en sus procesos a través de los datos que han obtenido por medio de una inversión realizada con anterioridad, consiguen una alta diferenciación con respecto a sus competidores. A continuación, se muestran ejemplos de empresas y tecnologías que han utilizado el Big Data para el desarrollo y optimización de sus procesos.

En primer lugar, se encuentra uno de los principales fabricantes de fármacos que realizó análisis avanzado con el fin de aumentar su rendimiento en la producción de vacunas sin que esto supusiese gastos adicionales para la compañía. Para ello, dividió la empresa en varios grupos relacionados para tomar gran cantidad de datos de cada uno de ellos sobre procesos y materiales que recopiló en una base de datos central.

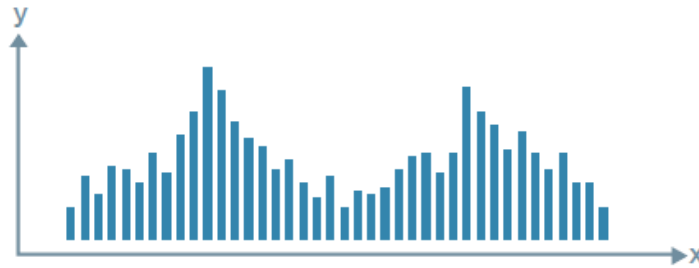
El equipo contratado para el análisis de estos datos realizó varios estudios estadísticos de los datos proporcionados que permitieron visualizar las interdependencias entre las diferentes etapas del proceso. Un número determinado de los parámetros resultó ser más influyente que el resto en los procesos, lo que llevó al fabricante a realizar cambios para aumentar su rendimiento y ahorrar mucho dinero en un solo proceso (Auschwitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014).

Los pasos llevados a cabo para el análisis de los datos fueron los siguientes:

1. *Visualización de los datos.* Se identifican los patrones iniciales utilizando medias, histogramas de distribuciones como el de la **Ilustración 23**, desviaciones, análisis clustering, etc., para dar prioridad a los datos recopilados y comenzar el análisis.

Ilustración 23. Histograma para el análisis de los datos

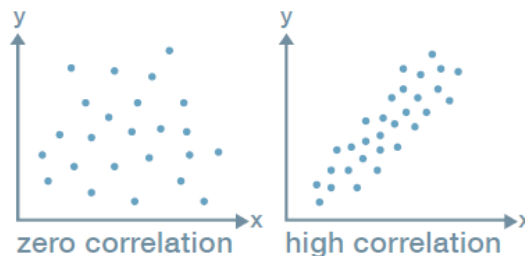
Fuente (Auschitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014)



2. *Uso de análisis de correlación.* Se identifican los principales datos del proceso para realizar hipótesis sobre las causas que provocan la caída y la variabilidad del rendimiento como vemos en la **Ilustración 24**.

Ilustración 24. Variabilidad del rendimiento del proceso

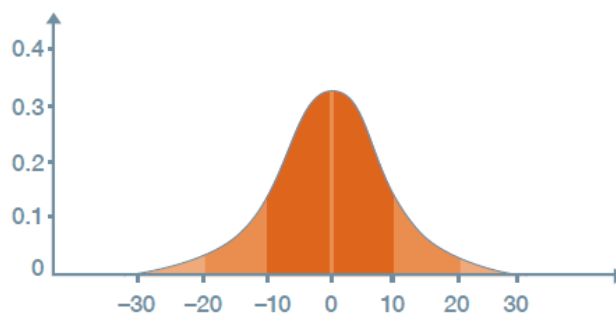
Fuente (Auschitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014)



3. *Realización de pruebas de significación.* Se demuestra la hipótesis inicial para analizar la variabilidad del rendimiento y fijarse en los factores más significativos a través de un análisis de una distribución como la mostrada en la **Ilustración 25**.

Ilustración 25. Distribución normal para el análisis

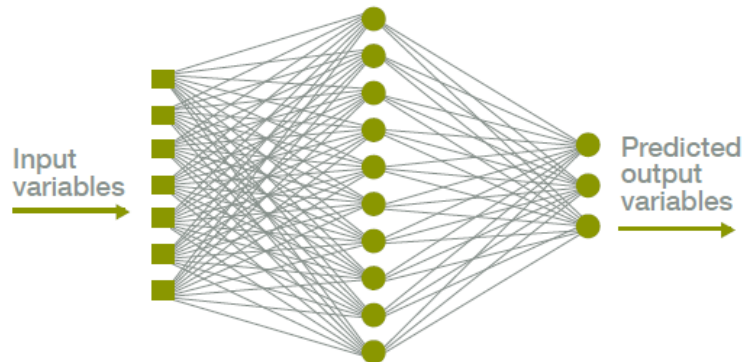
Fuente (Auschitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014)



4. *Uso de redes neuronales artificiales* como las de la **Ilustración 26**. Permiten modelar los procesos más complejos y analizar el impacto y los rangos para los parámetros de mejora que se han establecido.

Ilustración 26. Redes neuronales para analizar parámetros de mejora

Fuente (Auschwitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014)



El segundo ejemplo descrito trata de cómo considerar operaciones de fabricación como las mejores de su clase por medio de análisis avanzados de datos para aumentar el rendimiento de estas operaciones. Desde los años 60 un fabricante de productos químicos llevaba intentando mejorar el rendimiento de la fabricación, pero no obtuvo resultados hasta la utilización de redes neuronales (Auschwitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014).

De esta manera, aparecieron datos e información inesperados sobre el rendimiento de los sistemas productivos empleados. El análisis de los datos descubrió situaciones que no se habían visto anteriormente como que la reducción del flujo de un producto en las operaciones provocaba una gran reducción del rendimiento de los procesos.

Al mejorar los parámetros a través de los datos, la empresa consiguió reducir los residuos generados en un veinte por ciento y los costes energéticos en un quince por ciento, lo que supuso una mejora del rendimiento global de la firma. Hoy en día, se siguen realizando estudios con el fin de complementar sus procesos y dirigir la producción de manera automática.

El tercer ejemplo se dio en una mina de metales, que consiguió aumentar su rendimiento y sus beneficios evaluando los datos de producción de los metales. Después de atravesar una época en la que el mineral disminuía, era necesario optimizar el proceso de extracción y refinado.

Al principio, los datos obtenidos sobre la extracción y producción de estos metales estaban fraccionados por lo que, en primer lugar, tuvieron que limpiarlos para agruparlos y obtener información sobre los procesos. Un grupo de expertos se encargó de analizarlos para darse cuenta de que los niveles de un elemento influían en el rendimiento de la producción de metales.

Gracias a los análisis de los datos obtenidos, dicha mina realizó los cambios mínimos necesarios en los procesos para aumentar el rendimiento global. En poco tiempo

consiguieron ganancias significativas gracias al aumento del rendimiento sin la necesidad de realizar grandes inversiones o cambios importantes dentro de la infraestructura (Auschitzky, Hammer, & Rajagopaul, 2014).

Por último, nos centraremos en la utilización de la tecnología de balizas en la fabricación aditiva. Se reconoce la baliza como un hardware que utiliza el bluetooth para transmitir mensajes a un Smartphone o una tableta, dispositivo o máquina. Se trata de un dispositivo pequeño que puede ir fijado a una pared y ha comenzado a utilizarse en tiendas y negocios que desean relacionarse con los consumidores que pasan por el negocio (Barbosa & Aroca, 2017).

La señal emitida por el hardware es recogida por los smartphones por medio del bluetooth. Cuando el móvil detecta la señal, identifica el número de identificación, calcula la distancia a la que se encuentra y procede a desencadenar acciones a través de la aplicación que se encuentra en el sistema.

Esta tecnología puede ser utilizada para supervisar unidades de entretenimiento, sistemas de seguridad, electrodomésticos, termostatos, accesorios, cámaras de vigilancia, ..., y todo a través de los smartphones. Ha ganado mucho protagonismo gracias a la estimación de las distancias que existen entre las balizas y los dispositivos, midiendo el indicador de intensidad recibida de cada baliza cerca del usuario.

Por otra parte, tenemos la fabricación aditiva, que pertenece a un grupo de tecnologías conocidas como tecnologías de prototipado rápido, y, también, se puede realizar mediante la tecnología de balizas. Estas tecnologías de prototipado rápido poseen grandes ventajas debido a la versatilidad a la hora de producir libremente mediante CAD/CAM.

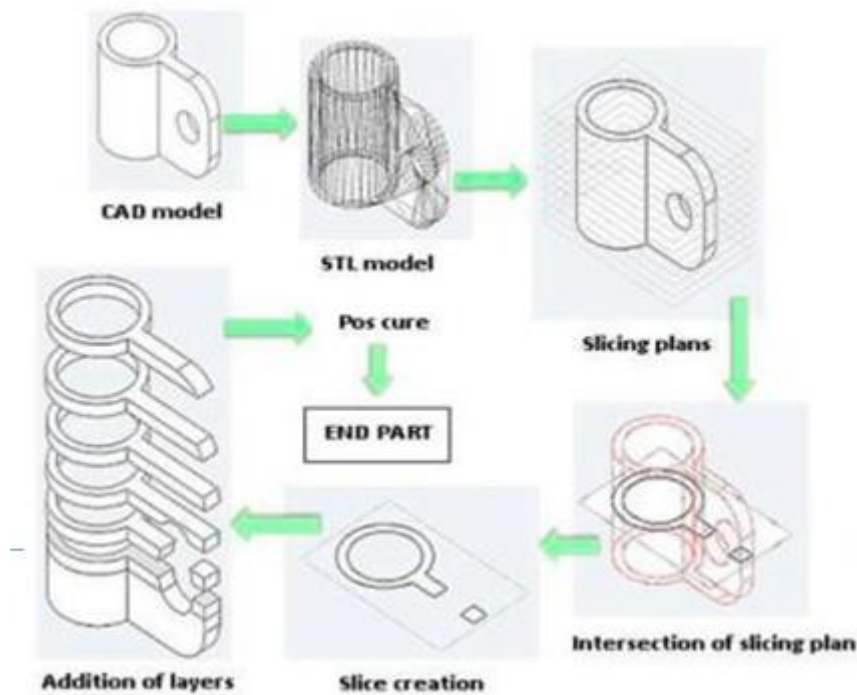
Este tipo de tecnologías pasaron a nombrarse de otras maneras que son más habituales de encontrarse pero que expresan este tipo de tecnología, como las impresiones 3D, la fabricación por capas, la fabricación de formas libres o la formación libre de sólidos. Pero la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) acuñó un término con el que referirse a estas tecnologías, la Manufactura Aditiva (Barbosa & Aroca, 2017).

En este tipo de fabricación, cada pieza comparte unas directrices técnicas: mediante el ordenador se analiza el cuerpo que se va a producir en un entorno virtual por medio del CAD y se define la fabricación de la pieza por medio de diferentes capas. Todas las capas están combinadas y forman el artículo en 3D (Barbosa & Aroca, 2017).

Las etapas que sigue la fabricación aditiva una vez creado el proceso son las siguientes: primero, se modela el objeto en 3D mediante un sistema CAD; luego, el modelo CAD se pasa a formato STL y se verifica que no han producido errores en la conversión; se crean las instalaciones y se orientan a la fabricación; se corta en lonchas el modelo y se prepara la fabricación con sus parámetros y programa de control; y, por último, se ejecuta el modelo para que fabrique la pieza. Estas etapas las encontramos representadas en la **Ilustración 27**.

Ilustración 27. Etapas de fabricación aditiva

Fuente (Barbosa & Aroca, 2017)



A continuación, nos centraremos en la gestión de máquinas de fabricación aditiva donde se utiliza la tecnología de balizas en la fábrica para permitir una mayor comunicación entre las máquinas y los dispositivos inteligentes. Estos dispositivos poseen aplicaciones que hacen que los datos puedan ser obtenidos de las instalaciones y proporcionan indicadores de producción a tiempo real cuando los usuarios se acercan a las máquinas que tiene las balizas instaladas.

Para el estudio de este caso se creó y se probó esta tecnología en un entorno real a tiempo real y con varias situaciones posibles. Todos los sistemas que formaban parte de la fabricación se basaban en interfaces que podían integrarse en las máquinas o estar disponibles en una nube de datos, lo que generó dos situaciones.

En primer lugar, cuando el administrador o el operador de la máquina se encuentra relativamente lejos de esta, puede monitorear y controlar la máquina desde el interfaz creado a través de dispositivos móviles, ordenadores, ..., pero siempre con sistemas de autenticación.

En segundo lugar, se da una situación mucho más sencilla en la que el operador o el administrador de la máquina controlan y monitorean la máquina que desee simplemente acercándose a ella a través de un dispositivo conectado a internet. En este caso, el sistema puede configurarse para determinar la distancia necesaria para que el sistema funcione (Barbosa & Aroca, 2017).

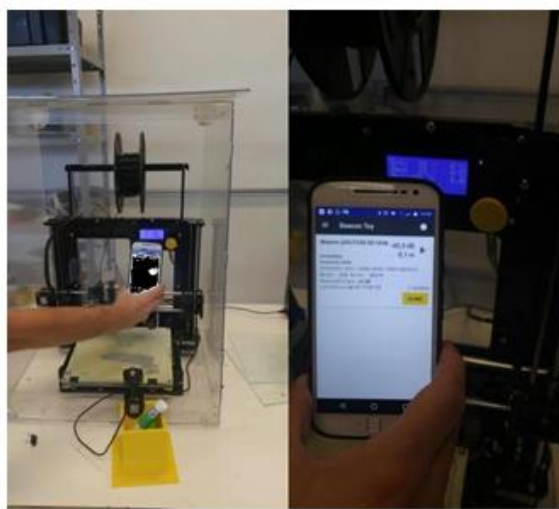
Podemos encontrar dos tipos de balizas en estos sistemas. En primer lugar, tenemos las que transmiten una URL que envían directamente la dirección de internet de la máquina.

En segundo lugar, encontramos las balizas que emiten una identificación ID. Cuando se detecta una baliza, la ID se busca en una base de datos que proporciona la dirección de control y monitorización de la máquina.

Para validar esto, se integra la tecnología de balizas en los procesos de fabricación aditiva y esto permite monitorizar las variables de los procesos de impresión. En la **Ilustración 28** podemos ver como se monitoriza a tiempo real a través de un dispositivo móvil la tecnología de balizas en una impresora 3D.

Ilustración 28. Monitorización de impresión 3D

Fuente (Barbosa & Aroca, 2017)

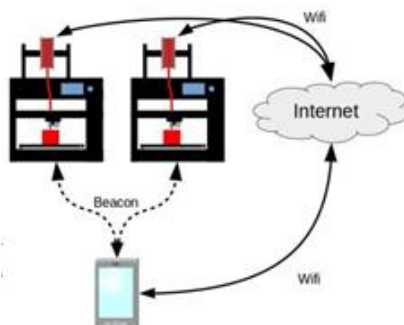


Cuando se ajusta la potencia de transmisión de la baliza, es posible ajustar la distancia a la que se quiere que se reconozca la baliza con el dispositivo móvil y esta puede variar desde menos de un centímetro hasta varios metros. Es una buena medida de seguridad, ya que a baja potencia se asegura que el dispositivo este a pocos centímetros para que la URL esté disponible para realizar la monitorización y el control del proceso.

En la **Ilustración 29** nos encontramos una instalación con balizas de una impresora 3D comunicada con un Smartphone que se encuentra próximo. Al acercarse este dispositivo, u otro diferente que tenga instalado el software necesario, el dispositivo detecta la presencia de la baliza y abre una página web para acceder a los datos informativos y los controles de la máquina a la que esté asociada.

Ilustración 29. Instalación con balizas

Fuente (Barbosa & Aroca, 2017)



En los procesos de fabricación aditiva el software instalado en el dispositivo inteligente permite a los usuarios monitorizar los parámetros que el operario desee como, por ejemplo: tiempo estimado de impresión, volumen de impresión, temperatura del material a imprimir, capa que se está imprimiendo, número de capas, posiciones X e Y, temperatura de la boquilla, velocidad, coste de la pieza, volumen de la pieza o visualización del proceso a tiempo real mediante webcams.

Además, el operario también puede enviar comando a la impresora 3D a tiempo real a través del dispositivo móvil. Algunos de los comandos que los usuarios pueden enviar pueden ser: detener e iniciar el proceso de impresión, pausar el proceso, modificar la temperatura del lecho o de extrusora, posiciones X, Y y Z, ir a la posición inicial, multiplicador de velocidad, multiplicador de flujo o multiplicador de enfriamiento.

Algunos de estos comandos nombrados son importantes para realizar ajustes rápidos durante el proceso de impresión. Cuando los operarios notan resultados que no son deseados en el proceso, realizan modificaciones rápidas a través de estos comandos en el flujo del material, la temperatura o la velocidad para mejorar la calidad del proceso, por ejemplo (Barbosa & Aroca, 2017).

Para implementar estos comandos, son necesarias las especificaciones de las balizas para obtener direcciones web seguras. Esto hace que los dispositivos y las máquinas utilicen conexiones seguras para los procesos. En muchos casos, es importante que se introduzcan contraseñas en los dispositivos para aumentar aún más la seguridad de dichos procesos.

Para que las balizas sean detectadas y conduzcan a las páginas web que realmente interesan, es necesario el desarrollo de una aplicación específica, que consulte los datos de una base de datos a través de internet. El desarrollo de este sistema se ha revolucionado y ha conseguido realizar máquinas de fabricación aditiva como las de la **Ilustración 30** y la **Ilustración 31**.

Ilustración 30. Máquinas de fabricación aditiva

Fuente (Barbosa & Aroca, 2017)



Ilustración 31. Máquina de fabricación aditiva (II)

Fuente (Barbosa & Aroca, 2017)



En cuanto a la recogida de datos de las impresiones 3D podemos decir que las arquitecturas basadas en sistemas de fabricación aditiva permiten el acceso total a cualquier parámetro de impresión del sistema. Las impresoras como las de la **Ilustración 30** y la **Ilustración 31** tienen una arquitectura interna diferente que no permite el acceso a los parámetros de impresión para el proceso de monitorización.

Una posible solución para este problema será la instalación de sensores que permitan conocer el estado de la máquina y de proceso de impresión. Por ejemplo, se podría usar un sensor de potencia eléctrica para saber cuándo se inicia y finaliza el proceso de impresión. Además, se podría estimar el consumo de energía integrándolo en el sistema para que se muestre en el dispositivo cuando se acerque a la máquina donde se encuentra instalada la baliza (Barbosa & Aroca, 2017).

Capítulo 4. Lean Manufacturing e Industria 4.0

4.1. El camino hacia la producción ajustada en la Industria 4.0

Como se ha visto anteriormente, la producción ajustada es muy reconocida y aceptada en el entorno industrial. Consiste en la integración de los seres humanos en los procesos productivos, en la mejora continua y en la consecución de actividades en las que se aporte valor añadido a los productos finales, evitando, además, los residuos en los sistemas productivos.

La producción ajustada permite crear redes de máquinas inteligentes, productos inteligentes, componentes propiedades individuos y sistemas basados en las TIC para toda la cadena de valor de un producto. De esta manera, aparecen las fábricas inteligentes, que son una representación de la coexistencia del Lean Manufacturing y lo que conocemos como Industria 4.0 (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

A pesar del gran avance que ha supuesto la Industria 4.0 en la fabricación, no se ha encontrado una definición como tal para dicho concepto. En algunos casos se define como *“la integración de maquinaria y dispositivos físicos complejos con sensores y software en red, utilizados para predecir, controlar y planificar mejores resultados empresariales y sociales”* (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

Por otra parte, podemos encontrar definiciones como *“un nuevo nivel de organización y gestión de la cadena de valor a lo largo del ciclo de vida de los productos”* o *“un*

término colectivo para las tecnologías y conceptos de organización de la cadena de valor” (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017). En definitiva, la Industria 4.0 será percibida como una estrategia para hacer a la empresa más competitiva de cara al futuro.

Cabe destacar que la Industria 4.0 está centrada en la optimización de las cadenas de valor de los productos dinamizando la producción y controlándola de forma autónoma. Para conseguir esta automatización, se utilizan sistemas físicos conectados a internet que interactuarán con el entorno de producción a través de microcontroladores, actuadores, sensores e interfaces de comunicación (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

Para conseguir que los principios de diseño se lleven a cabo, se deben aplicar estratégicamente. Las tecnologías que ya estén implementadas deben ser modificadas en lo que sea necesario para cumplir los requisitos de las tecnologías de fabricación, investigación y desarrollo de nuevos lugares de producción y mercado.

Por ello, se pueden distinguir tres tipos de modos de integración. El primero es el horizontal, que se refiere a generar redes de valor en las que estén implicados agentes importantes como los socios de la empresa, los clientes, los modelos de negocio de la misma, etc.

Por otra parte, se habla de una integración vertical cuando se refiere a sistemas de producción inteligentes como las fábricas inteligentes, los productos inteligentes, las conexiones de las redes de logística, la producción en general, el marketing y los servicios inteligentes de la empresa.

Por último, tenemos la integración extremo a extremo que está centrada en conseguir un mejor diseño del producto, mejorando de esta manera la fabricación de esta, su calidad y cumpliendo las necesidades de los clientes para así conseguir una mayor satisfacción de estos (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

Dentro de lo que supone la Industria 4.0 podemos destacar su gran potencial relacionado con la fabricación en los siguientes aspectos:

- Se consiguen soluciones específicas dentro de la industria y se comprenden con mayor facilidad las necesidades de los clientes lo que permite la obtención de un mayor beneficio.
- Hace que aumente la competitividad y la flexibilidad entre las empresas y se ajusta a los cambios de demanda y fallos en la cadena de valor con mayor facilidad.
- Se toman decisiones más optimizadas debido a la visibilidad de extremo a extremo a tiempo real.
- Aumenta la productividad de los recursos y la eficiencia utilizando la menor cantidad posible de recursos para obtener un producto.
- Se generan nuevas oportunidades de valor.
- Se mantienen los trabajadores productivos durante mayor tiempo, demostrando que tienen diversas trayectorias profesionales y flexibles.
- Se produce un mayor equilibrio entre el trabajo y la vida privada.

- Se genera una economía de altos salarios con costes de capital inmóviles, costes de energía y costes de personal reducidos.

En definitiva, la producción ajustada es el objetivo principal de todas las empresas con grandes procesos de fabricación. Se centra en conseguir productos de gran calidad que satisfagan las necesidades de los clientes, eliminando todo aquello que no agregue valor a los productos.

Para lograr esto con mayor facilidad se integra la Industria 4.0, la cual, a través de la informática, aumenta el nivel de producción, el nivel de fabricación, la calidad y los servicios a clientes y proveedores para conseguir una mejora continua del producto, en este caso, por medio de internet (Mrugalska & K. Wyrwicka, 2017).

4.2. Habilitación del Lean por Tecnologías de Industria 4.0

Algunos autores consideran que la producción ajustada ha llegado a su límite debido a que las grandes desviaciones de la demanda del mercado están en conflicto con la utilización de la capacidad nivelada requerida. Esto significa que es necesaria una producción disociada de la demanda del mercado.

Esto genera un nuevo conflicto con la producción que se ajusta a los pedidos por medio de una conexión directa entre la producción y las demandas que se generan en el mercado. La producción de un solo artículo no es adecuada debido a que los sistemas soportan gran variedad de productos y tienen una secuencia y unos tiempos de ciclo fijos.

La Industria 4.0 es la descripción de la integración de las TIC en el campo de producción ajustada. Según tres importantes asociaciones alemanas, el objetivo de la Industria 4.0 sería la optimización de las cadenas de valor, implementando una producción más dinámica y controlada de forma autónoma (Kolberg & Zühlke, 2015).

Para alcanzar este objetivo serían necesarios habilitadores como la disponibilidad de información a tiempo real y sistemas ciberconectados, e instrumentos que permitan elevar los niveles de automatización como los sistemas ciberfísicos, equipados con microcontroladores, actuadores, sensores y una interfaz de comunicación para que trabajasen de forma autónoma e interactuasen con el entorno de la producción.

En los últimos años la Industria 4.0 ha prestado mucha atención a la automatización de los sistemas Lean Manufacturing. En este periodo se disponen soluciones que pretenden combinar las tecnologías de la automatización y la producción ajustada, entre las que podemos ver algunos ejemplos.

Uno de ellos es el sistema Kanban, aplicado en instalaciones sucesivas. Consiste en la generación de tarjetas para iniciar una operación en una estación particular. Al introducir las TIC y la Industria 4.0 en la fabricación, aparece el e-Kanban, que

reconoce automáticamente mediante sensores los contenedores que faltan o los que están vacíos, e inmediatamente activa su reposición.

Este nuevo sistema permite también monitorear el nivel de carga de dichos contenedores y transmitirlo de forma inalámbrica por medio de sensores y a tiempo real a un sistema de control de inventario de tiempo real. Si el inventario y el valor del sistema de ejecución coinciden es que el proceso es satisfactorio y se evitan fallos de producción debidos a pérdidas de Kanban (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Otro ejemplo sería la aparición de sistemas iBin que se trata de una extensión para las ubicaciones Kanban. Con una cámara situada en el contenedor se detecta el nivel de carga del contenedor y el sistema iBin informa de esta situación al control de los inventarios de forma inalámbrica.

De esta manera, iBin es capaz de reducir las existencias de reserva y permite programar pedidos de piezas de recambio. También se utiliza para enviar pedidos a los proveedores de forma automática. En la Ilustración 32 podemos apreciar cómo sería la instalación y la ubicación de un sistema iBin en un contenedor.

Ilustración 32. Cámara del sistema iBin

Fuente (Kolberg & Zühlke, 2015)



Un nuevo ejemplo es el desarrollado por la Universidad del Sur de Dinamarca y el fabricante de juguetes Lego, que desarrollan enfoques que permitan implementar la automatización en sistemas productivos con estaciones en forma de U, lo que también es conocido como líneas *Chaku-Chaku*.

El resultado de estas investigaciones desemboca en el desarrollo de un sistema local de gestión de los pedidos que hace que las tareas de los sistemas ERP pasen a los empleados de dichas líneas que defienden que la automatización de las tareas de valor añadido es razonable debido a que las inversiones se amortizan más rápidamente (Kolberg & Zühlke, 2015).

Este ejemplo de líneas *Chaku-Chaku* se siguió desarrollando durante un tiempo. Investigadores alemanes llegaron a desarrollar soluciones basadas en robots que apoyasen a los empleados en tareas de montaje de este tipo de líneas. Esto hacía

enriquecer las tareas manuales de montaje y hacerlas más lucrativas para lotes mucho más grandes.

Por último, encontramos un ejemplo de un sistema flexible desarrollado para el suministro del material necesario a las líneas de producción. En concreto, un sistema informático calculó los intervalos de ida y vuelta para el transporte en función de la demanda que se genera a tiempo real.

En este sistema, la recolección de los datos necesarios se hace mediante el escáner de códigos QR. Una vez escaneados, su información llega a los empleados encargados del sistema de transporte a través de un PC. Esto permite reducir los tramos de vía en un 25% aproximadamente, lo que aumenta el nivel de fiabilidad del proveedor.

Considerando estos y otros ejemplos, se puede afirmar que la integración de la Industria 4.0 en la filosofía Lean es completamente fiable. De esta manera, se mejora la producción ajustada debido a la integración de las TIC y se obtienen ventajas por la combinación de ambos.

Que haya beneficios acelera que la Industria 4.0 se haya integrado en los sistemas Lean. Esto añade valor y riesgo a los usuarios. Aunque la Industria 4.0 esté relacionada con grandes inversiones, son especialmente lucrativas en áreas como el ahorro de costes o métodos sencillos de producción ajustado donde no se satisfacen completamente los requisitos actuales (Kolberg & Zühlke, 2015).

La aplicación de la Industria 4.0 a los sistemas Lean también reduce los riesgos de integración gracias al asesoramiento que existe para dicha integración. Además, los procesos se estandarizan más, son más transparentes y precisan menos trabajo. El resultado será procesos menos complejos y que soporten nuevas soluciones de este tipo de industria.

Gracias a dicha integración, se pueden distinguir varios casos de uso para la aplicación de las soluciones que propone la Industria 4.0. Los habilitadores que se han identificado pueden ser aplicados a varios métodos de producción esbelta. A continuación, se describen algunos de los ejemplos de estos casos (Kolberg & Zühlke, 2015).

Además de las aplicaciones presentadas previamente, debería existir dentro del marco una definición de las interfaces de cómo estas soluciones se pueden complementar entre sí y cómo integrarlas en un entorno que exista para llevarlas a su aplicación. En este campo se pueden ofrecer servicios requeridos de una estación de trabajo a sistemas cercanos y superiores.

De esta manera, las estaciones de trabajo se pueden añadir a las líneas de producción de una forma sencilla y flexible y son capaces de procesar comandos del sistema de control de producción superior. Además, los sistemas ciberfísicos pueden intercambiar datos con sensores, actuadores, PLC y pueden actuar a través del interfaz hombre-máquina con los empleados que se encuentren en las estaciones de trabajo (Kolberg & Zühlke, 2015).

Como resultado de esto, las estaciones de trabajo manuales pueden ser actualizadas mediante TIC de automatización, sin intervenir en el sistema superior de ejecución de la fabricación. Los sistemas ciberfísicos desacoplan la comunicación entre las estaciones de trabajo y los sistemas de producción que se encuentran en esa estación de trabajo.

En definitiva, un marco tiene que describir las funciones de los dispositivos y las responsabilidades de cada uno de ellos, además de la forma en que se activan las tareas. Un ejemplo sería que cada estación debe ser capaz de recibir el Kanban, interpretarlo e iniciar la producción que sea necesaria en ese momento.

Las tareas son independientes de la configuración real de cada una de las estaciones de trabajo, ya sean de máquinas o de humanos. Los fallos de una estación serán tratados inmediatamente por cada responsable y por los sistemas de mejora continua. La producción flexible necesita una adaptación de los tiempos de ciclo y los procesos de producción, por lo que se debe definir quién desencadena los cambios y cómo reciben dichos cambios las estaciones de trabajo a través de mensajes.

Un marco para las estaciones de trabajo equipadas con sistemas ciberfísicos, una colección de módulos de software ya preparados y una estructura de aplicación determinada servirán de apoyo a los ingenieros de un sistema productivo. El marco será el encargado de definir las interfaces de los sistemas y de implementarlas parcialmente (Kolberg & Zühlke, 2015).

Un modelo de información que permite el intercambio de datos por medio de actuadores, sensores, PLC y otros elementos dentro de la estación de trabajo permiten el control de esta. Estos controladores se pueden integrar a través de un repositorio central.

De esta manera, con la implementación de un marco, los ingenieros encargados de este aspecto podrían centrar su trabajo en implementar el proceso de producción en lugar de implementar protocolos de comunicación individuales, controladores de hardware o ajustar interfaces de otros sistemas.

Sin embargo, no existe el marco integral que se propone para combinar la Industria 4.0 con la producción Lean. Falta un concepto completo para la integración de estaciones de trabajo manuales y automatizadas. Los protocolos de comunicación existen en parte, lo que faltaría sería un estándar específico para el control de la producción. Lo que se resume en que la combinación de Industria 4.0 y Lean Manufacturing añadirán valor a los usuarios y productos (Kolberg & Zühlke, 2015).

4.3. Integración del Lean Manufacturing y la Industria 4.0

Con la llegada de la fabricación integrada por ordenador, surgieron especulaciones de que en un futuro habría fábricas autónomas que no requiriesen humanos para su funcionamiento. Al cabo de un tiempo resulta que el no requerimiento de humanos era inviable, pero aparece la automatización ajustada, que utiliza robots y humanos para conseguir una automatización ajustada.

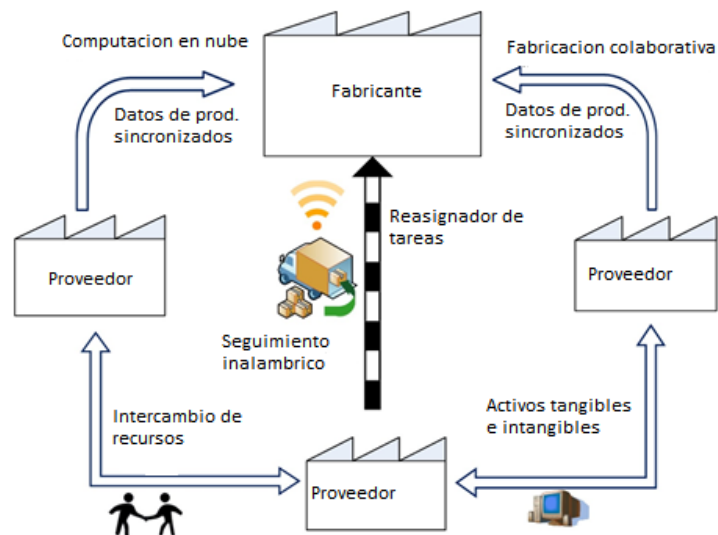
A continuación, se van a describir diez dimensiones pertenecientes al Lean Manufacturing a partir de cuatro factores de agrupación y se evaluará cómo la Industria 4.0, con sus conceptos, están haciéndolas más fáciles (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

4.3.1. Factores del proveedor

Los factores del proveedor hacen referencia a todo lo relacionado con el flujo de mercancías e información de los proveedores al fabricante. Será necesario que todas las cadenas de suministros de los proveedores estén sintonizadas con lo que el fabricante quiere para su negocio. Para ello, se fijarán las prioridades en las dimensiones de retroalimentación de los proveedores, el desarrollo de estos y entrega JIT, y el impacto de Industria 4.0 que observamos en la Ilustración 33.

Ilustración 33. Impacto de la Industria 4.0 en los proveedores

Fuente (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016)



Comentarios de los proveedores

La información que se transfiere entre los fabricantes y los proveedores genera gran cantidad de residuos en el proceso y en el producto. Los proveedores son informados por los fabricantes del estado y las condiciones de los productos, así como el servicio que ofrecen.

En caso de discrepancias entre ellos, esto facilita las respuestas inmediatas y las acciones correctivas que haya que tomar. Pero siempre habrá diferencia entre los modelos de negocio, las operaciones y las prácticas de mantenimiento de datos entre los fabricantes y los proveedores que no permiten a los fabricantes comunicarse con facilidad con sus interesados comerciales.

Para solucionar este tipo de problemas, la Industria 4.0 es capaz de aportar herramientas que logran una retroalimentación inmediata y automática a los proveedores que mejoran

la comunicación con los fabricantes, es decir, hacen que la información transmitida sea la necesaria y no genera residuos.

Este método es utilizado especialmente en pymes debido a sus limitados recursos. También se trata de una buena manera de ampliar los horizontes de negocio y moderar los riesgos en caso de ocurrir algún imprevisto. Además, los datos pasan a estar altamente sincronizados entre los fabricantes y los proveedores (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Los sistemas tradicionales permiten a los socios comunicarse por medio de la computación en nube. A través de SmartPhones y tablets los socios se pueden conseguir una mejor relación con los interesados. De esta manera, mejorando la colaboración, la sincronización y los mecanismos de comunicación se permite mantener una retroalimentación más eficaz a los proveedores (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Entrega justo a tiempo por parte de los proveedores

Como se ha visto anteriormente, la filosofía del *Just In Time* (JIT) pretende que los niveles de inventario de cualquier fábrica sean cero, es decir, los proveedores deben suministrar los productos adecuados en el momento necesario, sin la necesidad de almacenajes.

Esto es algo que no es posible en todos los casos debido a diversas razones como, por ejemplo, el estado incompleto de las mercancías que se envían, los desajustes entre las mercancías requeridas y las transportadas o los retrasos inesperados durante los transportes de estas mercancías.

Para solucionar este tipo de problemas, el IoT permite a las empresas que, a través de diferentes dispositivos conectados, gestionen la información sobre las mercaderías. Los artículos almacenados pasan a ser rastreados de forma inalámbrica sabiendo su origen, destino y el estado en que se encuentra.

Estos artículos ya poseerán una etiqueta que les identifique y que permita garantizar que el envío sea al destino correcto y la reducción de los plazos de distribución, además de una entrega puntual de artículos, optimizando rutas de viaje y dándole a la logística una mayor fiabilidad.

Si se producen imprevistos de tráfico u otras limitaciones que retrasen la entrega, un reasignador de tareas iniciará automáticamente un proceso simulado, en el que se reasigna un pedido para satisfacer las limitaciones de tiempo. En definitiva, el etiquetado de artículos, el seguimiento y la reasignación inteligente mejoran las entregas de mercancías justo a tiempo de los proveedores (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Desarrollo de proveedores

Cuando el fabricante es el único que implementa la fabricación ajustada y los proveedores siguen con prácticas atrasadas, pueden surgir desajustes entre las mercancías y los flujos, generándose desperdicios. Por ello, todos los socios del campo

de trabajo del producto deben desarrollarse junto con el fabricante. La falta de recursos y conocimientos técnicos hacen que los proveedores no puedan crecer a la par de los fabricantes.

La Industria 4.0 establece redes de comunicación tecnológicas entre los diferentes socios del entorno. Estas redes permiten compartir activos en forma de datos que generan información, y otros activos tangibles como máquinas, equipos o expertos humanos. Estas redes beneficiarán a las empresas tanto en el modelo de negocio referido a la exportación como con la cooperación en el desarrollo del producto hasta la producción y las ventas.

También existen problemas de incompatibilidad entre fabricantes y proveedores referidos al software y al hardware de los sistemas. Existen formatos de datos que no son compatibles entre dos proveedores de servicios diferentes, lo que impide que la información se transfiera con claridad.

La solución propuesta se basa en la estandarización de las interfaces de los equipos que pueden soportar un tipo de hardware o software específico entre ellos. Muchos de ellos estandarizarán sus entidades individuales y sus protocolos de comunicación para conseguir el objetivo de introducir la Industria 4.0, y conseguir comunicarse a través de organizaciones virtuales e interfaces estandarizadas y sincronizarse con los fabricantes sin ningún tipo de problema (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

4.3.2. Factor del cliente

Este segundo factor es el encargado de satisfacer las necesidades de los clientes e integrarlas en las estrategias de negocio con el objetivo de conseguir una fabricación ajustada de los productos.

Participación del cliente

La participación del cliente debe establecerse desde las primeras fases en las que se desarrolla el producto. Los clientes son la clave de mantener las empresas a flote y su intervención en estas se considera muy importante. Una vez establecidas las estrategias de fabricación del producto, los clientes ya no disponen de la flexibilidad que anteriormente disponían para intervenir en las fases del producto.

Los clientes se mantienen informados sobre las etapas de producción real y la finalización prevista del pedido gracias a los sistemas inteligentes introducidos en la fabricación. A través de dichos sistemas, los periodos en los que se establecen definitivamente los parámetros de fabricación ya no pueden modificarse e incorporan al producto parámetros inalterables, y el cliente ya no podrá intervenir.

Hoy en día, la mentalidad y los modelos de negocio de los fabricantes se han convertido en productos y servicios. Los servicios han mejorado con el paso del tiempo como la actualización y la renovación, que permiten descubrir nuevos clientes incrementando además las experiencias de los clientes que ya tenían las empresas.

La Industria 4.0 emplea técnicas para analizar datos de los clientes y del mercado. Para ello se utilizan herramientas como las funciones de calidad, que tiene límites impuestos por los requisitos del cliente y el diseño de los productos. Además se genera un gran problema debido a la exactitud de las adquisiciones de los clientes.

Por medio del Big Data se puede mejorar el cálculo y procesamiento de las relaciones entre las necesidades y las funciones para grandes volúmenes de datos. Los productos finalizados y vendidos se denominan inteligentes por estar formados por dispositivos de seguimiento de los datos que se envían a las fábricas inteligentes, de los cuales se ha hablado anteriormente.

Esto permite a los fabricantes recopilar y analizar los datos de los dispositivos, lo que permite identificar mejor las necesidades y actitudes de los clientes con el fin de proporcionarles un mejor servicio y de calidad. El resultado de la integración del Big Data para los clientes en la fabricación será un mejor servicio del fabricante para producir los productos que ellos desean (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

4.3.3. Factores del proceso

El flujo de los productos desde que son materias primas hasta que son productos terminados y las secuencias de operaciones de un taller son factores muy importantes en la implantación del Lean Manufacturing. Estos factores los podemos encontrar en la **Ilustración 34** que aparece a continuación.

Ilustración 34. Impacto de la Industria 4.0 en los factores de proceso

Fuente (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016)



Tirar de la producción

Las operaciones son realizadas cuando son exigidas. Las órdenes de fabricación las crea el cliente, es decir, la demanda surge de los clientes. Por ello, cada operación que va después de otra tiene que iniciar la operación de su predecesor. Si la empresa tiene una producción de empuje normal, se crea un inventario innecesario, lo que se refleja en unos mayores costes de fabricación, mantenimiento, etc.

Los sistemas *pull* se ven gravemente afectados cuando hay un seguimiento inadecuado de los materiales suministrados en las líneas de producción o en alteraciones en los programas después de haber suministrado material. Para solucionar estos problemas se diseñó el Kanban, que es considerado uno de los mejores métodos para la producción *pull*, como se ha visto anteriormente (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Los sistemas inalámbricos usados en este sistema utilizan etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) para controlar los contenedores. Los cambios de horarios de estos también pueden ser modificados desde el sistema de control y los parámetros Kanban también gracias a la introducción de las TIC. Los flujos de producción pasarán a ser sistemas *pull* gracias a la monitorización automática de reposición de material, al seguimiento de la programación y a las actualizaciones del Kanban gracias a la Industria 4.0 (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Flujo continuo

El flujo de materias primas, productos semiterminados y productos terminados debe ser continuo de acuerdo con un flujo de valores determinado. Las materias deben llegar en el momento de la fabricación para así no esperar largos periodos de tiempo o formar inventarios. Cabe la posibilidad de que el flujo sea interrumpido en muchos casos por errores en el recuento de elementos, tener una capacidad escasa o provocar retrasos en la toma de decisiones por los sistemas de control centralizados.

Las soluciones que se emplean para este tipo de problemas se basan en tecnologías RFID que ayudan a eliminar errores de inventario por medio de un seguimiento exhaustivo a tiempo real. El estado alcanzado por estas tecnologías, sin errores, ayuda a mantener un inventario de bajo nivel, lo que ahorra gran cantidad de costes a las empresas.

Las industrias se dedican a contratar estos servicios para poder recibir recursos y asistencia cuando es necesario, ayudando así a gestionar la capacidad. Un fabricante es capaz de ajustar la producción en caso de retrasos gracias al seguimiento de la capacidad y el progreso de los pedidos de un proveedor.

En 2014 se propuso un método para la distribución de materiales a través del IoT basado en la filosofía del JIT para cualquier industria. Para ello, se construyó un modelo matemático para distribuir los materiales y la información relacionada con estos a cada estación del taller. Al resolver el algoritmo se obtuvo un plan de distribución del material.

El plan obtenido elimina las interrupciones, las esperas en las líneas de producción y los retrasos en la programación, lo que se traduce en un flujo continuo y optimizado. Así, el seguimiento del inventario a tiempo real, la subcontratación de otras empresas y la toma de decisiones dentro de la empresa conducen a que se establezca un flujo continuo en las líneas de producción (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Reducción del tiempo de preparación

Cuanto mayor es el número de clientes, mayor será la variabilidad de productos; por ello, se necesita mayor intercambiabilidad en las máquinas. Para solucionar esto Toyota inventó el intercambio de troqueles en solo un minuto, y consiguió reducir en gran medida los tiempos para cambiar el formato debido a la variabilidad de los productos.

La fabricación moderna no puede permitir que los tiempos de fabricación sean muy elevados cuando hay multitud de variantes. Estas adaptaciones entre unos procesos y otros son realizadas por humanos que poseen grandes conocimientos. Gracias a la Industria 4.0 y tecnologías como el *plug & play*, se pretende que las máquinas aprendan a cambiar los útiles y que los sistemas estén equipados con auto-optimización.

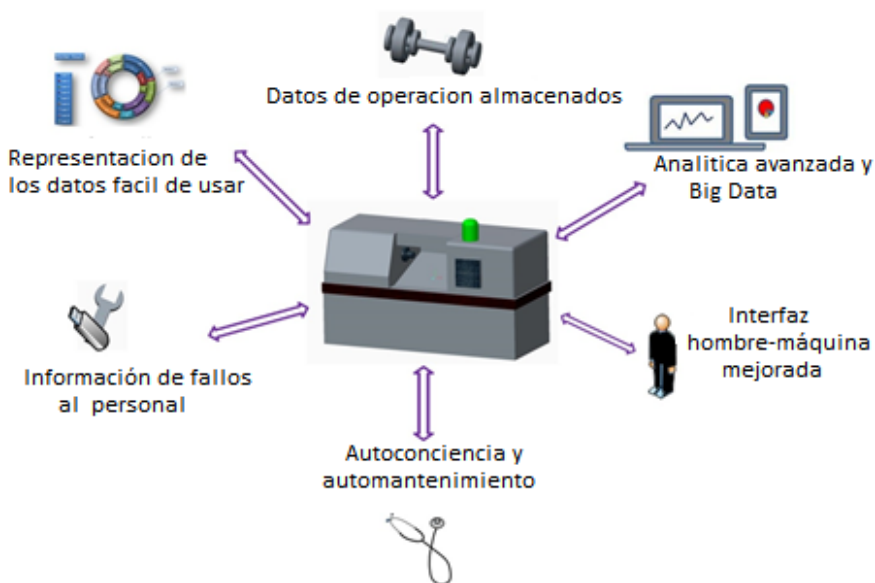
Las operaciones pasarán a realizarse mediante etiquetas RFID. Cuando la pieza llega a los puestos, se comunican con las máquinas mediante estas etiquetas. Esto provocará un cambio más rápido en los parámetros de la máquina dependiendo de la pieza que le llegue. El tiempo de preparación se reducirá considerablemente gracias a la auto-optimización de la máquina y las comunicaciones entre las máquinas y las piezas (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

4.3.4. Control y factores humanos

Los factores humanos serán los encargados de los controles de calidad de los equipos y los entornos de trabajo. Se encargan de las dimensiones de mantenimiento productivo y mantenimiento preventivo total, del control estadístico de procesos y la participación de los empleados. El impacto de la Industria 4.0 en estos factores lo podemos ver en la **Ilustración 35**, que se muestra a continuación:

Ilustración 35. Impacto de la Industria 4.0 en los factores de control y humanos

Fuente (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016)



Mantenimiento productivo y mantenimiento preventivo

Las averías y los fallos de las máquinas provocan retrasos en el tiempo en los programas de producción. Las empresas intentan controlar este tipo de fallos a través de programas de mantenimiento preventivo pero las averías son muy difíciles de controlar. La producción de las empresas se interrumpe debido a las averías de las máquinas, lo que genera una gran pérdida de tiempo a las firmas. En muchos casos no es fácil encontrar la causa, lo que incrementa aún más el tiempo improductivo.

En las fábricas inteligentes de hoy en día, cuando se produce una avería la propia máquina envía información al encargado de esa zona y al personal de mantenimiento correspondiente a través de sistemas tecnológicos. Estos encargados comprueban el error y son los responsables de buscar soluciones obteniendo las piezas y herramientas necesarias para la reparación. Para suavizar el impacto de las averías, el sistema reprograma los trabajos.

Por otra parte, las máquinas se encargan por si solas de diagnosticar su estado utilizando datos de otras máquinas, lo que reduce los problemas de mantenimiento. Esto es necesario para poder anticiparse a las averías e identificar bien las causas con anterioridad. De este modo, la comunicación entre operarios y máquinas, el auto-mantenimiento de las máquinas y los sistemas de control, mejoran el mantenimiento productivo y preventivo de toda la fábrica (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Control estadístico de los procesos.

Los procesos de fabricación deben estar bajo control y para ello se han desarrollado numerosas técnicas que gestionan su calidad. La reducción de la vida útil de los productos, la disminución del tiempo de desarrollo, los precios cada vez más competitivos y la mayor complejidad en los productos llevan a los procesos a tener un alto riesgo.

A través de la Industria 4.0 y los productos inteligentes generados, se obtienen datos de las operaciones que se han realizado, es decir, las operaciones están cargadas en el soporte del producto. La información que contiene el producto es transmitida a la máquina para las operaciones automatizadas y se mejoran las interfaces de las operaciones manuales.

De esta manera, también se mejoran las interfaces hombre-máquina, generando información para así evitar la generación de errores. Los dispositivos de radiofrecuencia permiten la detección de variaciones por medio de la lectura de las etiquetas RFID. El IoT integra procesos de valor añadido para combinarlo con la información y los datos de las máquinas y aumentar la inteligencia artificial para disminuir los problemas.

Esta inteligencia se combina con los flujos de trabajo y calcula relaciones y tendencias de los flujos de trabajo con los datos disponibles. La comunicación entre la pieza y la máquina, la mejora de las interfaces hombre-máquina, el seguimiento, la integración y la gestión de los procesos permiten que no se fabriquen productos con defectos, y lo que

es más importante, que no lleguen a los clientes (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Participación de los empleados

Los empleados son fundamentales en la fabricación debido a que son los responsables de trabajar para crear los productos necesarios, por lo que sus ideas y sugerencias siempre podrán añadir valor al producto. Por ello, es importante que los empleados tengan la moral alta; de lo contrario, en muchos casos les podría llegar a resultar difícil presentar ese tipo de sugerencias y comentarios sobre sus puestos de trabajo.

Gracias a la Industria 4.0, los trabajadores podrán proporcionar la información necesaria a través de datos a tiempo real, por medio de SmartPhones o tablets. En las fábricas inteligentes todo el personal estará equipado con dispositivos portátiles inteligentes e integrados en la intranet de la empresa, lo que generará un ambiente más cómodo para los empleados, que podrán realizar sus sugerencias con mayor facilidad.

Estos dispositivos también influyen en cargos más altos de la empresa. Un ejemplo es que, a través de estos aparatos, se puede distribuir a los empleados por los puestos de trabajo con mayor facilidad, además de comprobar la disponibilidad de trabajadores para realizar determinadas operaciones.

Por otra parte, esto también facilita la evaluación de los empleados en el sentido de la velocidad de trabajo, la precisión, el rendimiento o factores de motivación, mediante sistemas focalizados en el apoyo a los trabajadores. Esto genera que sean necesarios mejores interfaces internos en la fábrica y procesos de formación especializada para los empleados (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016).

Los empleados se sienten mayormente insatisfechos por temas de monotonía y el desarrollo de actividades rutinarias. Estos dispositivos liberarán a los trabajadores de este tipo de problemas y les ayudará a centrarse en tareas más diversificadas. De la misma forma, las actividades más monótonas se automatizan y se capacita a los trabajadores para su calibración y ajuste, su procesamiento de datos y otro tipo de tareas más amenas a través de sus propios dispositivos.

En definitiva, la Industria 4.0 ha llevado a la motivación de los empleados por medio de la utilización de dispositivos inteligentes. Estos dispositivos, los sistemas de apoyo a los trabajadores y la mejora de las intranets y las interfaces hombre-máquina facilitan la participación y la captación de los empleados en los sistemas productivos.

Para finalizar, se muestra en la **Tabla 12** un resumen de las dimensiones, retos y soluciones que ha propuesto la Industria 4.0 en la fabricación.

Tabla 12. Resumen de las dimensiones, retos y soluciones Lean

Fuente (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016)

Dimensiones de la fabricación ajustada	Desafíos para una implementación Lean desde la perspectiva de la integración	Soluciones de la Industria 4.0
Comentarios de los proveedores	Experiencia y recursos ilimitados Diferencia en modelos de negocio, operaciones y prácticas de mantenimiento de datos	Fabricación en colaboración Mejores mecanismos de comunicación Sincronización de datos
Entrega JIT por parte de los proveedores	<i>Status</i> de expedición de mercancías incompletas Desigualdad en la cantidad de mercancías transportadas Retrasos inesperados durante el transporte	Etiquetado de posiciones Seguimiento inalámbrico de mercancías Reasignación inteligente del pedido
Desarrollo de proveedores	Recursos y conocimientos técnicos inadecuados Compatibilidad de equipos entre organizaciones	Interfaces estandarizadas Organizaciones virtuales-cooperación sinérgica
Participación del cliente	Poca flexibilidad para la alteración del producto Relación entre necesidades y funciones Adquirir las necesidades externas del cliente	Período de congelación prolongado QFD de gran volumen Análisis de uso
Tirar de la producción	Pista incorrecta de la cantidad de material suministrado Cambios en el programa de producción	Supervisión de la reposición de material Seguimiento de la programación y actualización de kanban
Flujo continuo	Errores en el recuento de inventario Escasez de capacidad Sistemas de control centralizado	Seguimiento de inventario Subcontratación Toma de decisiones descentralizada
Reducción del tiempo de preparación	Adaptación de procesos basada en la experiencia humana	Auto-optimización y aprendizaje de la máquina Comunicación entre la pieza y la máquina

Mantenimiento total productivo/preventivo	No hay control de la avería de la máquina	Comunicación entre máquinas y trabajadores
	Tiempo de resolución de problemas desconocidos	Evaluación de auto-mantenimiento
		Sistema de control de mantenimiento predictivo
Control estadístico del proceso	Ignorancia de los operadores	Comunicación entre la pieza y la máquina
	Incapacidad para seguir las variaciones del proceso	Interfaz hombre-máquina mejorada
		Seguimiento, integración y gestión de procesos
Participación de los empleados	Mecanismos de retroalimentación inadecuados	Dispositivos inteligentes de retroalimentación
	Prácticas de evaluación del desempeño	Sistemas de apoyo a los trabajadores
	Monotonía en el trabajo	Interfaz hombre-máquina mejorada

4.4. Interdependencias entre la Industria 4.0 y los Sistemas de Producción Lean.

El Lean Manufacturing se ha establecido ya en casi todas las industrias, convirtiéndose en un requisito básico para cada una de ellas. A día de hoy, el noventa por ciento de las empresas ya ha implementado algunos de los métodos y estrategias Lean en su entorno de producción. Por ello, los entornos de producción de estas empresas se organizan de acuerdo a los principios de Lean Manufacturing.

Además del Lean Manufacturing, a las empresas actuales ha llegado la Industria 4.0 por medio de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Estas TIC permiten analizar los datos según algoritmos definidos y controlar los flujos de producción iniciando actividades de mejora continua, lo que permite a los clientes lanzar órdenes de fabricación de manera independiente (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017).

Todos los procesos deben definirse de manera eficiente antes de que la empresa comience a automatizar dichos procesos de producción. Por ello, la Industria 4.0 requiere estar orientada a estos procesos mediante los propios procesos, los proveedores, los clientes, las tareas y los tiempos definidos.

Un aspecto muy importante en los sistemas de producción en los que se utiliza el Lean Manufacturing será la implantación de procesos eficientes en los que no haya residuos, que tengan unos estándares definidos y estén orientados al cliente. Para ello, se utiliza la Industria 4.0 que permite una mejor integración con clientes y proveedores en todo el proceso en el que es aplicado el Lean, lo que le añade valor al producto final.

La Industria 4.0 avanza cada vez más en los sistemas de producción Lean. Esto hace que aparezca un modelo de cuatro fases diferenciadas en la producción: diseño, implementación, transición y operación. En la primera fase, la de diseño, se diseñan las condiciones generales, los objetivos y la estructura de revisión del sistema de producción Lean, eligiendo los métodos a aplicar (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017).

En la segunda fase, la de implementación, se desarrolla y ejecuta un concepto de cualificación y se aplican los primeros métodos Lean. En la tercera fase, de transición, se revisan los objetivos, los métodos y los instrumentos seleccionados. Por último, en la fase operativa, la cuarta, se evalúan los rendimientos obtenidos. Todo ello mejorará continuamente gracias a estar implementado en un sistema de producción Lean.

La aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en los sistemas productivos mejora los rendimientos de dichos sistemas consiguiendo que la producción y la logística sean más eficientes. Aun así, se han declarado varias interdependencias entre el Lean y la Industria 4.0 donde destacan cuatro categorías: Lean como base para la Industria 4.0, la Industria 4.0 completa al Lean, la Industria 4.0 aumenta la eficiencia del Lean y el cambio de los principios del Lean.

En la tabla que se muestra a continuación **Tabla 13**, se aprecia un resumen de los estudios y declaraciones que se han realizado de las interdependencias del Lean y la Industria 4.0. Estas interdependencias entre los términos son generales, pero se realizará un análisis más detallado de estas (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017).

Tabla 13. Interdependencias entre el Lean y la Industria 4.0

Fuente (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017)

Declaraciones	<i>Lean como base de 4.0</i>	<i>4.0 completa Lean</i>	<i>4.0 aumenta la eficiencia de Lean</i>	<i>Cambio de los principios Lean</i>
TPS (<i>Toyota Production System</i>) y 4.0 no son ninguna contradicción	✓	✓		✓
GPS como base de Smart Factory con la dimensión de red				
CPS (Sistemas Ciberfísicos) aumentan la eficiencia de Lean	✓			
GPS como condición previa para una implementación eficiente de 4.0				
Dos pistas hasta el mismo acabado	✓		✓	
4.0 usa Lean como base y se adhiere en sus límites				
Lean y 4.0 son adaptables y compatibles	✓	✓		✓
4.0 como enfoque técnico es viable solo con Lean como base				
El éxito de 4.0 depende de la experiencia de los empleados con Lean	✓			
Usa el término "Lean 4.0"				
Si Lean no es la base de 4.0 es una nueva edición de CIM	✓			
Nombra "SMART LEAN" como un intento de la empresa				
4.0 expande las herramientas de Lean		✓		
"4.0 acelera Lean"				
Diferentes enfoques con los mismos resultados	✓	✓		
Malos procesos no pueden automatizarse con éxito				
4.0 no es una contradicción del Lean		✓	✓	
CPS acelera la filosofía de Lean				
4.0 lleva a un cambio completo de los principios Lean				✓

4.0 es la reencarnación de la automatización Lean Incluso Ohno pensó en la automatización	✓	
4.0 apoya y aumenta el objetivo de Lean Algunos principios de Lean tal vez se vuelven menos importantes	✓	✓
<i>Perfect Lean</i> debe combinarse con 4.0	✓	
No hay un conflicto serio entre el 4.0 y la producción ajustada, son capaces de complementarse entre sí, pero no son similares.	✓	✓
"¡No engordes las cosas, piensa en magro! ¡Cree y utilice tecnologías Lean ahora como creaste una organización Lean entonces!" 4.0 también siguen el principio de evitar el desperdicio	✓	

Análisis de interdependencias entre la Industria 4.0 y los Sistemas de Producción Lean.

Para analizar las interdependencias entre la Industria 4.0 y los Sistemas Productivos Lean, ha ayudado mucho que no exista una estructura jerárquica de Industria 4.0 en relación a sus tecnologías, sistemas, características y ventajas. Para estructurar los elementos más comunes se han analizado diversos casos de uso de este tipo de industria.

En cada caso analizado se describe la aplicación de los elementos de la Industria 4.0 en un proceso de producción específico. Todos los casos analizados están relacionados con los objetos de este tipo de industria. Además, para asegurar que son casos en los que se aplica la Industria 4.0 a los Sistemas de Producción Lean se ha asignado un principio Lean a cada uno de ellos. Así, se ha comprobado que cada una de las Industrias 4.0 puede tener asociados principios Lean (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017).

El análisis de todos los casos tuvo como conclusión que los elementos aplicados de la Industria 4.0 pueden estar agrupados en sistemas como tecnologías 4.0, sistemas Industria 4.0 y características relacionadas con el proceso Industria 4.0. En la **Tabla 14** se muestran todos los elementos que se han analizado y estructurado dentro de la industria.

Tabla 14. Estructura de los elementos de la Industria 4.0

Fuente (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017)

<p>Características del proceso de la Industria 4.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Integración horizontal • Integración vertical • Datos a tiempo real • Transparencia • Flexibilidad • Digitalización • Coherencia de la información • Monitorización • Visualización • Trazabilidad • Auto.optimización • Etc.
<p>Sistemas de la Industria 4.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Datos inteligentes • Objetos inteligentes • IoT (<i>Internet of Things</i>) • Sistemas ciberfísicos • Comunicaciones máquina-máquina • Etc.
<p>Tecnologías de la Industria 4.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Big Data • Identificación por radiofrecuencia • Computación en una nube • Realidad virtual • Sensores • Datos en tiempo real • Vehículos guiados • Consumidores electrónicos • Etc.

Debido a las interdependencias entre los Sistemas de Producción Lean y la Industria 4.0, las empresas necesitan un enfoque común debido a las dificultades que tienen para analizar el potencial de la Industria 4.0 y seleccionar las tecnologías más prometedoras de dicha industria para sus procesos.

Para estudiar las interdependencias entre ambos términos se deben recordar los ocho principios de los sistemas de producción Lean que son: estandarización, cero defectos, flujo, tirón, mejora continua, orientación al empleado y gestión por objetos, gestión visual y evitación de los residuos.

Se analizaron concretamente 260 casos donde las mayores interdependencias que se obtuvieron fueron la evitación de residuos y el *cloud computing*. En 84 de los casos se han encontrado estas dos tecnologías e implementado en el proceso. Otra alta interdependencia encontrada fueron los cero defectos en el Big Data. En 37 de los casos estudiados se utilizaba el Big Data en el proceso, lo que se asigna con el principio de cero defectos.

El *cloud computing* es una tecnología altamente relacionada con la visualización de los datos encontrados en una nube y, por tanto, se podría asociar a una de las tecnologías básicas de los Sistemas de Producción Lean. En consecuencia, al reconocer esta tecnología como una de las tecnologías básicas para mejorar la visualización de los Sistemas de Producción Lean, se considera que tiene una gran interdependencia con la Industria 4.0, ya que también es considerada una de sus tecnologías más importantes (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017).

Hay gran cantidad de características de Industria 4.0 utilizadas en procesos de fabricación que pueden asignarse a los principios de estos sistemas de producción. Por ejemplo, la digitalización es una de ellas, que se ha encontrado en 89 de los 260 casos estudiados y puede ser asignada a un principio de estandarización del proceso.

La digitalización será la que más impacto tenga sobre los principios de los Sistemas de Producción Lean. Pero la integración horizontal y vertical es muy relevante para este tipo de industria, aunque en los análisis no parece tener tanto impacto como la digitalización en dichos sistemas productivos. Esto se debe a la naturaleza de los casos y los usos que mejoran específicamente un solo proceso y no tienen en cuenta el proceso de aplicación de la revisión o la integración horizontal que corresponde.

En definitiva, un análisis de uso de los casos relativo a los objetivos perseguidos por las empresas para la implementación de la Industria 4.0 o de los procesos relacionados, como la producción, la logística, la calidad, etc., puede utilizarse para el desarrollo de las empresas que implementen esta industria. Esto les ayudaría a evaluar mejoras de sus procesos relacionados con los Sistemas Productivos Lean y la Industria 4.0. (Dombrowski, Richter, & Krenkel, 2017)

Capítulo 5. Otros Aspectos a Tener en Cuenta.

5.1. Un poco de vigilancia tecnológica.

A continuación, se hablará de cómo a través de la Industria 4.0, las empresas mantienen mayor flexibilidad en la fabricación, mejor calidad en los productos y una productividad mejorada. Esto les permite hacer frente a importantes retos para producir artículos cada vez más individualizados en un corto plazo y de mayor calidad.

Como se ha explicado antes, la base de esto será convertir los recursos en productos inteligentes, que sean capaces de sentir, actuar y comprometerse con su entorno. Con el fin de comprender este tipo de productos y fabricación, aparecen la fabricación inteligente, la fabricación habilitada para el IoT y la fabricación en la nube.

Como ya se ha visto anteriormente, la Industria 4.0 tiene por objetivo la creación de fábricas inteligentes en las que las tecnologías de fabricación se vayan actualizando en base a sistemas ciberfísicos, el IoT o el *cloud computing*. Para ello se combinan varias tecnologías con el fin de transformar las cadenas de valor de la industria, de la producción y los modelos de negocio (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

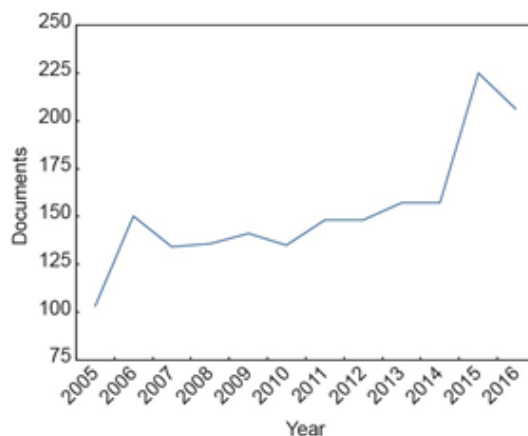
El principal fin de la fabricación inteligente se basa en conseguir que los procesos físicos y los flujos de información estén siempre disponibles, donde sean necesarios y cuando la fabricación lo requiera, ya sea en industrias multisectoriales, en pymes o en grandes empresas.

Para conseguir que la fabricación inteligente sea un éxito, son necesarias otras tecnologías clave como los sistemas ciberfísicos, el Internet de las Cosas, la computación en nube, los análisis de grandes cantidades de datos o las tecnologías de la información y la comunicación, que apoyan al humano en este tipo de fabricación.

Gracias a los datos obtenidos entre los años 2005 y 2016 se puede ver cómo ha evolucionado este tipo de fabricación del que estamos hablando. En la **Ilustración 36** vemos cómo han evolucionado el número de documentos sobre este tema entre los años 2005 y 2016 (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Ilustración 36. Evolución de los documentos relacionados con la fabricación inteligente

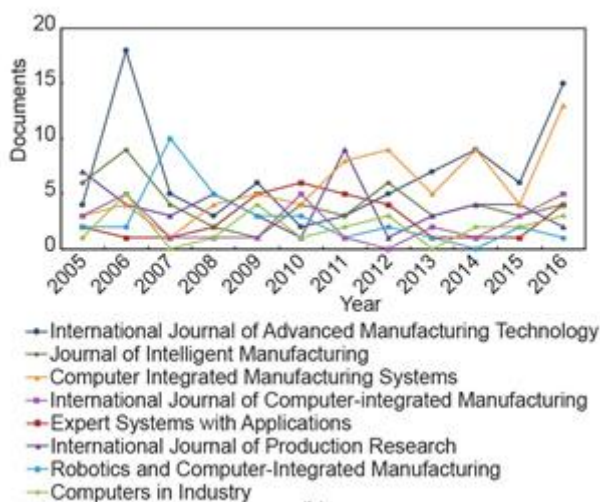
Fuente (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017)



Por otra parte, en la **Ilustración 37** encontramos las principales fuentes de publicación de los trabajos realizados en base a la fabricación inteligente. Entre dichas publicaciones destacan el *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, *Journal of Intelligent Manufacturing*, *International Journal of Production Research* y *Expert Systems with Applications*.

Ilustración 37. Publicadores de los documentos de la fabricación inteligente

Fuente (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017)

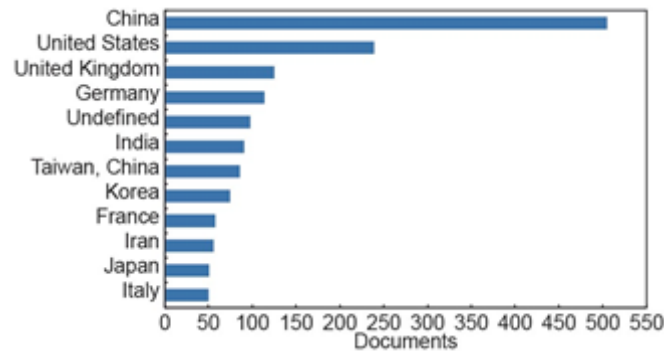


Por último, en la **Ilustración 38** nos encontramos enumerados los países y regiones que más han investigado en la fabricación inteligente, es decir, los que más trabajan en este

campo, entre los que podemos destacar Estados Unidos, China y el Reino Unido como las tres principales potencias.

Ilustración 38. Principales lugares donde se trabaja la fabricación inteligente

Fuente (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017)



Como se puede observar, las potencias que más destacan en la fabricación inteligente son China, Estados Unidos y el Reino Unido. A continuación, se describe cómo se ha desarrollado en lugares como China, Estados Unidos, la Unión Europea y Japón, y en cómo se han adaptado a este tipo de fabricación y a la Industria 4.0 cada uno de ellos (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017)

China

En el año 2015 el Estado Chino da a conocer a las empresas un modelo de mejora de la capacidad de fabricación para permitir al país alcanzar a otras potencias industriales como Alemania o Estados Unidos en 10 años. Esta iniciativa adoptó el nombre de *Made in China 2025*.

El plan tiene por objetivo aumentar la capacidad de innovación de las industrias manufactureras chinas, promover una fusión entre la información y la industrialización, fortalecer la capacidad de industria básica, impulsar las marcas de calidad en China, promover la fabricación de productos respetuosos con el medio ambiente, posibilitar avances en sectores clave, seguir reestructurando la industria manufacturera, avanzar en la fabricación orientada a la prestación de servicios e industrias de servicios relacionados con la fabricación y aumentar la participación internacional en la fabricación.

Para apoyar esta transformación el gobierno chino propone los siguientes planes estratégicos: orientaciones del Consejo Estatal para la Promoción de la Acción Internet, orientaciones del Consejo Estatal para la Profundización de la Integración de la Industria Manufacturera e Internet, y el 13° Plan Quinquenal del Programa Nacional de Innovación Científica y Tecnológica.

En China, la fabricación en nube fue lo que primero se intentó para conseguir una fabricación inteligente y, además, fue el lugar donde apareció por primera vez. Tuvo muchos logros reconocidos y aplicados a otros trabajos. Además, consiguieron avances muy importantes en fabricación inteligente como en las máquinas de control numérico computarizado, robots industriales, instrumentos inteligentes o fabricación de aditivos.

Gracias a la instauración de la fabricación inteligente en China, esta infraestructura ha alcanzado altos niveles logrando avances en computación de alto rendimiento como terminales inteligentes, empresas líderes en internet móvil o computación en nube que apoya el desarrollo de la fabricación inteligente (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Estados Unidos

En el año 2012 aparece un nuevo concepto asociado a la fabricación en Estados Unidos que es el del IoT (*Internet of Things*), y con él surgen máquinas inteligentes, análisis avanzados y personas conectadas, lo que supone un punto clave para el avance de la fabricación futura, para tomar decisiones inteligentes por parte de personas y máquinas.

Los tres componentes principales del IoT en ese momento eran los equipos inteligentes, los sistemas inteligentes y la toma de decisiones inteligentes. En este momento destacó el *Industrial Internet Consortium*, cuyo objetivo sería proporcionar recursos, ideas, proyectos y actividades sobre las tecnologías basadas en el IoT y la seguridad que ofrecían estas.

En este momento, el IoT permitía una circulación de datos, hardware, software e inteligencia que permite la iteración de todos ellos mediante el almacenamiento, la visualización y el análisis de datos proporcionados por las máquinas y las redes para tomar la mejor decisión posible en cuanto a la fabricación.

El mayor potencial del IoT en la industria se consigue cuando sus tres principales componentes (los equipos inteligentes, los sistemas inteligentes y la toma de decisiones inteligentes) se unifican. Esto permite que la red de máquinas, materiales, trabajadores y sistemas se convierta en una fábrica inteligente o Industria 4.0.

En Estados Unidos se desarrolla una plataforma de IoT llamada Predix, que permite el análisis a escala industrial y la gestión del rendimiento de las operaciones para proporcionar una forma estándar de conectar las máquinas, los datos y las personas. Su arquitectura estaba distribuida entre una nube de datos y las máquinas en las que operaba.

Esta plataforma estaría dividida en cuatro partes: la supervisión de los activos en red, la gestión de datos industriales, el análisis de estos datos y las aplicaciones de estos en la nube. Al estar conectados a la nube y a los dispositivos industriales y proveedores, se consiguió aumentar el rendimiento de donde operaba y la optimización de las operaciones (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

La Unión Europea

En 2013 apareció en Alemania por primera vez un plan de Industria 4.0 conocido como Cuarta Revolución Industrial, haciendo hincapié en las industrias que habían adaptado en los últimos años máquinas y productos inteligentes y habían creado redes inteligentes capaces de comunicarse entre ellas de una manera autónoma.

La investigación de este plan se enfoca en tecnologías para fabricantes basadas en la inteligencia de los objetos, las redes de sensores inalámbricos y los sistemas ciberfísicos. Con esto aparece la nube digital de Siemens, capaz de proporcionar

grandes cantidades de datos de forma segura generados por máquinas y capaces de controlar y optimizar las instalaciones por medio de su análisis.

Estas masivas cantidades de datos se producen a tiempo real. Permiten un análisis de inteligencia para una toma de decisiones posterior con el fin de transformar la producción en fabricación inteligente o basada en una nube. El principal objetivo de esto es llegar a conseguir una fábrica inteligente haciendo uso de las nuevas tecnologías.

Un ejemplo claro de esto puede ser que las máquinas tengan capacidad de decisión a tiempo real mediante la integración de sensores que controlen el proceso. Para ello se utilizarán máquinas conectadas a internet o interconectadas entre sí. Esto permite la construcción de una nube que proporcione a los equipos capacidad de percepción de la información, comunicarse mediante una red y un control preciso.

Este tipo de fabricación establece una visión y unas rutas para las tecnologías de fabricación inteligentes de alto valor añadido en las fábricas del futuro, las cuales serán limpias, de alto rendimiento y respetuosas con el medio ambiente. Esto ha sido acordado para toda la comunidad europea (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Japón

En 2015, con una iniciativa como la alemana, llega a Japón la Industria 4.0 en forma de una nueva iniciativa adoptada por empresas como Mitsubishi, Fujitsu, Nissan Motor y Panasonic. Esta iniciativa la inició el *Industrial Value Chain Initiative (IVI)* que se trata de un foro para combinar tecnologías de información y fabricación, y crear un espacio donde las empresas puedan colaborar unas con otras.

En dicho foro se trata de conseguir fábricas vinculadas y una fabricación inteligente. Para ello, los miembros de las empresas discuten sobre diferentes escenarios industriales con el fin de identificar los problemas reales de esta adaptación y determinar las soluciones más oportunas para los diferentes escenarios.

El IVI se basa en dos principios para conseguir que las empresas dejen de lado las ventajas competitivas individuales y conseguir una arquitectura de sistemas interconectados basados en escenarios en los que las empresas colaboren de forma habitual: la fabricación conectada y una norma vagamente definida.

La fabricación conectada tendrá por objetivo purgar los residuos y las desigualdades entre las empresas a través de fábricas inteligentes, donde se creen cadenas de valor inteligentes que puedan estar basadas en automatización de máquinas y en capacidad humana.

El segundo principio promueve un modelo adaptable. Adapta un enfoque basado en la realidad y el estado actual de la fabricación, con el fin de que las empresas consigan aumentar el valor a nivel individual con la implantación de sistemas de producción conectados a través del IoT o ciberfísicos (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

5.2. Fabricación inteligente, fabricación habilitada para el IoT y fabricación en la nube.

En muchos de estos países la industria manufacturera es la base de su economía, por lo que tiene una gran influencia en el sustento de millones de familias. Hoy en día se distinguen tres principales tipos de tecnologías en esta industria: la fabricación inteligente, la fabricación habilitada por IoT y la fabricación en nube.

Respecto a la *fabricación inteligente*, esta tiene por objetivo la optimización de la producción y las transacciones de productos mediante el uso de tecnologías avanzadas de comunicación y fabricación. Es considerado un nuevo modelo de fabricación que se basa en la ciencia y en tecnologías inteligentes que consiguen una mejora del diseño, de la producción, la gestión y la integración del ciclo de vida de cualquier producto.

El ciclo de vida de cualquier producto evoluciona mediante el uso de sensores avanzados, dispositivos inteligentes, modelos de toma de decisiones adaptables, materiales avanzados y análisis de datos. Con ello mejora la eficiencia de su fabricación y la calidad y el nivel de servicio del producto final.

Para lograrlo se utiliza la fabricación inteligente, considerada como la fabricación de próximas generaciones que se obtiene adaptando modelos y formas de nuevas metodologías para transformar el sistema de fabricación tradicional en un sistema de fabricación inteligente (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Todo ello va conectado a internet, que es por donde se proporcionan servicios colaborativos, personalizables, flexibles y con la posibilidad de que los usuarios finales puedan configurarlos, lo que permite un sistema de fabricación hombre-máquina altamente integrado.

Esta cooperación entre el humano y la máquina establece un ecosistema donde los diversos elementos de la fabricación intervienen de modo que, a nivel organizativo, técnico y de gestión, los sistemas se combinen a la perfección. Un ejemplo de ello es la fábrica ciberfísica de Festo, que da la oportunidad de formarse y cualificarse técnicamente a sus grandes proveedores, universidades y escuelas en Alemania.

La inteligencia artificial juega un gran papel en la fabricación inteligente ya que proporciona características como el aprendizaje, el razonamiento y la actuación. Lo visualizamos en el caso de los materiales y las composiciones de producción que se pueden organizar de forma automática, y los procesos productivos que pueden ser supervisados y controlados a tiempo real (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

La *fabricación habilitada por el IoT* se refiere a un principio avanzado de esta en el que los recursos para producir están basados en objetos de fabricación inteligentes, que son capaces de detectar, interconectar e interactuar entre sí con el fin de llevar a cabo de forma automática la fabricación.

En este tipo de fabricación destacan las conexiones persona-persona, persona-máquina y máquina-máquina, que son las que permiten una percepción inteligente de la

fabricación. Por ello, las tecnologías asociadas al IoT en la fabricación permiten el uso a petición y el uso compartido de los recursos.

Las tecnologías IoT son consideradas un importante concepto dentro de la Industria 4.0 ya que, gracias a ellas, se pueden adoptar avances recientes. Además, permiten la adquisición y el intercambio de datos para un posterior análisis de la fabricación que permita aumentar el rendimiento global del sistema productivo.

A través del intercambio de datos a tiempo real aparecen nuevas tecnologías clave como la identificación por radiofrecuencia y las normas de comunicación inalámbrica. A partir de la primera los flujos físicos de fabricación y los flujos de información como los movimientos de materiales y la visibilidad o la trazabilidad respectivamente, permiten una integración sin problemas (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Los objetos de radiofrecuencia, como los lectores y las etiquetas, permiten ser utilizados en los lugares típicos de fabricación como las líneas de montaje o los almacenes, entre otros, donde es posible la creación de objetos inteligentes equipados con diferentes tipos de dispositivos de radiofrecuencia.

Además, estos dispositivos permiten la detección de cualquier anomalía dentro de un taller y tienen la posibilidad de realimentar el sistema de fabricación a tiempo real, lo que mejorará la eficiencia y la eficacia en la toma de decisiones en lo que a materia de fabricación y producción se refiere.

Se han dado varios casos reales en los que se ha utilizado este tipo de fabricación. En el más destacado se introdujo un sistema de gestión de la producción por radiofrecuencia a tiempo real en una línea de montaje de motocicletas. Concretamente, fue en Loncin Motor Co. y se utilizó para recopilar datos a tiempo real a partir de materias primas, artículos en proceso, personal, etc. con el fin de mejorar los artículos finales (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Por último, encontramos la *fabricación en nube*, que se refiere a la fabricación bajo el soporte de una computadora, el IoT, la visualización y las tecnologías orientadas a servicios que permiten transformar los recursos de fabricación en servicios que pueden ser compartidos de forma integral. Así es posible abarcar toda la vida del producto: su diseño, la simulación, la fabricación, la prueba y el mantenimiento. Por todo ello, es considerado un sistema de fabricación inteligente.

Esta red inteligente es a lo que se conoce también como nube de fabricación, en la que los recursos y las capacidades son utilizados de manera computacional por el hombre. De esta manera, el uso de los servicios de fabricación desde la nube puede ser proporcionado a los consumidores finales.

En la fabricación en nubes se detectan de forma inteligente muchos recursos-capacidades de producción y son conectados a la nube. Por ejemplo, el IoT o los dispositivos de radiofrecuencia o los códigos de barras, se utilizan para gestionar y controlar los recursos para su posterior digitalización (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

Como resultado de esto, los recursos y las capacidades de la fabricación serán virtualizados, guardados y distribuidos entre los servicios a los que se puede acceder. Estos servicios son categorizados y agregados dependiendo de unas reglas predefinidas. Por ello, hay muchos tipos de nubes de fabricación que permiten el manejo de estos servicios.

Para compartir todos los servicios se necesitan enfoques que desplieguen la nube, como nubes públicas, privadas, comunitarias o híbridas, que permitan un acceso fácil a los consumidores finales con el fin de establecer un entorno de fabricación virtual a partir de dichas nubes.

Por ejemplo, una nube híbrida sería una mezcla de varias nubes que ofrezcan diferentes modos de implementación y, además, otras ventajas como la implementación flexible y el fácil acceso para empresas y consumidores en el caso de utilizarlas para algún tipo de negocio (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017).

En la **Tabla 15** aparece un resumen de los tipos de fabricación vistos anteriormente, teniendo en cuenta sus características principales, las tecnologías de apoyo, las investigaciones importantes y sus aplicaciones.

5.3. Evaluación de sistemas de fabricación 4.0 bajo incertidumbre

Los sistemas de fabricación han de mejorar continuamente como consecuencia de las crecientes expectativas de los clientes, una mayor competencia en un mundo cada vez más globalizado y a unos mercados dinámicos que hacen que los plazos de entrega sean cada vez más cortos.

Para solucionar estos problemas aparece el Manufacturing Systems 4.0 que logra los objetivos de las empresas a través de sensores interconectados y controladores inteligentes automatizados. Además, este sistema permite aumentar el negocio de las empresas enfocando ofertas de servicios y relaciones con los clientes (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

Como muchos otros avances tecnológicos, el Manufacturing Systems 4.0 también tiene barreras. Una de las más importantes son los altos costes de inversión inicial. Además, no se conoce al cien por cien sus estrategias, utilización o beneficios, por lo que las empresas tienen posibilidades de que no les salga rentable dicha inversión.

Debido a esto, es importante introducir métodos de evaluación que ayuden a las empresas a decidir sobre la implantación de los Sistemas de Fabricación 4.0. Por ello, se han estudiado varios métodos y se han dividido en dos grandes categorías dependiendo su enfoque principal.

Tabla 15. Resumen de los tipos de fabricación

Fuente (Zhong, Xu, Klotz, & Newman, 2017)

Conceptos	Características principales	Tecnologías de apoyo	Investigación importante	Aplicaciones
Fabricación inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de decisiones inteligente basada en la Inteligencia Artificial • Producción automatizada avanzada • Sistemas adaptativos y flexibles para la fabricación del hombre 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran procesamiento de datos • Robótica avanzada • Conectividad industrial • Servicios • Sensores de última generación 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación avanzada • Modelos de decisión • Integración hombre-máquina • Aprendizaje de máquina habilitado para AI • Conexión máquina a máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema de fabricación inteligente con un retrato de una norma de tolerado ISO • Un banco de pruebas del ciclo de vida del producto que permite la fabricación de inteligentes • IMS basados en agentes • Planificación y control inteligente de la fabricación
Fabricación habilitada por el IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de fabricación inteligente basado en la tecnología de identificación automática • Recolección de datos en tiempo real • Visibilidad y trazabilidad en tiempo real de los procesos de producción • Fabricación en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> • IO • Producción inalámbrica • BDA • Cloud computing 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de toma de decisiones en tiempo real basados en datos • Visualización de datos en tiempo real • Modelado SMO • Modelos de comportamientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema de gestión de recursos basado en RFID • Una producción de construcción inteligente habilitada por la IO • Un sistema de gestión de inventarios WIP basado en RFID • Un sistema de planificación y programación de la producción en tiempo real compatible con RFID
Fabricación en nube	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución y compartición de servicios de fabricación • Gestión inteligente de las capacidades • Gestión de servicios de fabricación en la nube 	<ul style="list-style-type: none"> • Cloud computing • IoT • Método de virtualización • Tecnología orientada al servicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado de la fabricación • Recursos y capacidades • Servicios de manufactura. • Figuración • Fabricación de arquitectura de nubes 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización de datos en una fabricación en nube • Área de producción • Selección de la composición del servicio basada en un sistema de fabricación en nube • Fabricación inteligente de nubes utilizando la IoT • Un marco de trabajo basado en la web semántica en la nube

La primera de ellas se centra en la transparencia y el nivel de comprensión del método, pero no tiene una buena integración de la incertidumbre y la evaluación financiera. La segunda, por lo contrario, introduce métodos que sí integran la incertidumbre y permiten una evaluación financiera en profundidad, pasando a un segundo plano la incertidumbre, la transparencia y el nivel de comprensión.

Ninguna de las dos categorías se centra en concreto en Sistemas de Fabricación 4.0. Por ello, a continuación, se describe un método que se centra en un equilibrio entre las dos categorías nombradas anteriormente y tiene en cuenta sistemas de fabricación, en concreto, el Manufacturing Systems 4.0 (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

Es necesaria una evaluación de los *sistemas de fabricación 4.0* para tener un sistema competitivo en la empresa. El *método de evaluación* se compone de los siguientes pasos: definir un procedimiento de planificación de la fábrica, determinar la base de la planificación, planificación conceptual, planificación detallada y ejecución del plan.

El paso principal que permite a las empresas mejorar a tiempo real es la combinación entre la simulación y la evaluación del plan. El método de evaluación está compuesto por cinco importantes pasos que se sintetizan en la **Tabla 16**:

Tabla 16. Pasos para la evaluación.

Fuente (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017)

Definición del alcance de la evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Objeto de evaluación • Intervalo de tiempo • Alternativas
Criterios de selección y recopilación de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Basados en la estrategia empresarial • Criterios monetarios y no monetarios • Recopilación de datos
Definición del modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación de la incertidumbre • Transformación monetaria • Agregación y visualización
Ejecución del modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación • Cálculos VAN • Matlab
Análisis de resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de sensibilidad • Portafolio de evaluación • Ratio de riesgo

En el paso 1 definimos el alcance de la evaluación, es decir, el objetivo de la evaluación, el tiempo de esta y las alternativas que tiene. A continuación, se eligen los criterios monetarios o no monetarios en función de la estrategia de negocio que tenga la empresa, para una posterior recogida de datos.

Posteriormente, se define el modelo de evaluación, donde se incluye la modelización de la incertidumbre, la transformación monetaria de los criterios no monetarios y la agregación de criterios y la visualización de los resultados. Luego se ejecuta el modelo y se realizan cálculos del VAN mediante el programa Matlab.

Por último, se analizan y evalúan los resultados. Se realiza un análisis de sensibilidad o se calcula y visualizan varios indicadores de ratios de riesgo (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

5.3.1. Definición del alcance de la evaluación

El alcance del método evaluativo viene determinado por el objetivo de la evaluación, el tiempo que se va a evaluar y las posibles alternativas que tiene la inversión. En primer lugar, nos encontramos el objetivo, que viene definido por los límites de la evaluación, cuya base es la estrategia de la empresa y el programa de inversiones que tenga cada una.

El periodo corresponde al alcance temporal de la evaluación y es muy importante para el cálculo del valor real de la inversión. Por último, aparecen las alternativas de inversión que depende de la estrategia de cada compañía, pudiendo llevar cada estrategia a distintas especificaciones dependiendo de las tecnologías y las soluciones (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

5.3.2. Criterios de selección y recopilación de datos

Para elegir los criterios de selección hay que tener en cuenta la estrategia de cada empresa y el conocimiento. Los objetivos estratégicos de cada empresa vienen representados por los criterios de selección adecuados. Para todas las empresas el objetivo principal es la rentabilidad.

Debido a esta rentabilidad de las empresas, la selección de los criterios debe llevarse a cabo en términos monetarios o no monetarios. Dependiendo del ciclo de vida de los sistemas de fabricación las empresas pueden seleccionar diferentes tipos de gastos como si fuesen criterios.

Un ejemplo será ofrecer una visión general que se base en el ciclo de vida del producto, basándose en las inversiones en sistemas de fabricación que puedan utilizarse para poder seleccionar los criterios monetarios. A esto se le pueden añadir gastos específicos que representen la influencia de los sistemas de fabricación ciberconectados (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

Un ejemplo de estos gastos serán los costes del personal que no se dedica a la fabricación, ya que pueden verse afectados debido a la integración del flujo de información o también ser necesarios para otros esfuerzos relacionados con las tecnologías de la información.

Existen otros tipos de criterios que no pueden evaluarse de manera monetaria, por lo que también habrá que seleccionar criterios no monetarios. Estos criterios se introducen teniendo en cuenta métodos adicionales. Por ejemplo, la medición del nivel de madurez se realiza por medio de modelos de niveles de madurez de Manufacturing Systems 4.0 y permite analizar la transformabilidad de los sistemas de fabricación.

Por último, en este segundo paso se realiza una recopilación de datos, que puede llevarse a cabo mediante entrevistas, observaciones u otros métodos específicos. Estos métodos pueden ser estimaciones, simulaciones, análisis de documentos, análisis de flujo de valores o métodos de medición del tiempo (MTM, *Methods Time Measurement*) (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

5.3.3. Definición del modelo

Una vez seleccionados los criterios de selección y recopilados los datos, se definirá el modelo de evaluación. Dicho modelo está dividido en tres elementos: modelización de la incertidumbre, transformación monetaria de los criterios no monetarios y la presentación de los resultados obtenidos.

Dependiendo de los resultados que se han obtenido por medio de los datos inciertos, se pueden considerar dos tipos de incertidumbre: estocástica y lingüística. Los datos inciertos de los modelos cuantitativos, ya sean monetarios o no monetarios, se modelan mediante distribuciones de probabilidad.

En los datos se pueden utilizar palabras y dentro de la evaluación de estas palabras se produce la incertidumbre. Esto sucede cuando los datos siguen un criterio cualitativo. El significado de cada dato depende de varios factores, como lo que se describe o quién lo escribe. La incertidumbre que aparece en estos casos se denomina incertidumbre lingüística.

La monetarización es el impacto financiero de un criterio no monetario sobre uno o varios criterios monetarios. El impacto se representa en términos monetarios y se suma a los otros criterios monetarios. La determinación del impacto financiero de un criterio no monetario depende del conocimiento de las dependencias entre los diferentes tipos de criterios (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

Si se conocen las dependencias de unos sobre otros, la determinación del impacto es directa, estimando, simulando o implementando una red neuronal para cuantificar dicho impacto financiero. Pero si la dependencia ya se conoce, se determina mediante estimación, simulación, análisis de regresión, determinación de puestos de la cuadrícula o por una modelización gráfica.

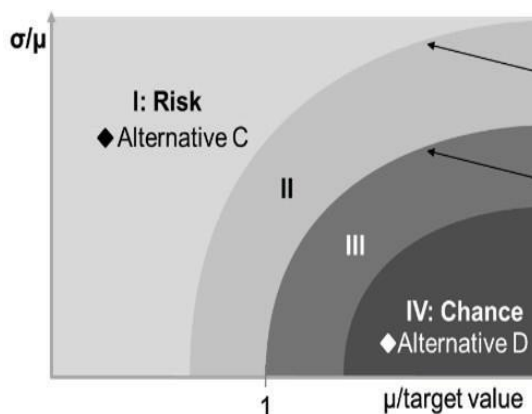
Para calcular el valor real del impacto, se realizan varias simulaciones de Monte-Carlo. Para cada una de las iteraciones de esta simulación se extraen criterios estocásticos que serán utilizados para calcular el valor real del impacto, gracias a la obtención de una distribución de probabilidad del valor real.

Para la visualización de los resultados obtenidos, en primer lugar, se representan histogramas y la desviación estándar de cada alternativa es la utilizada para analizar los ratios de riesgo relacionados con cada alternativa. Para analizar a fondo cada alternativa, se calcula el coeficiente de riesgo de cada una de ellas. Este riesgo será el margen entre el valor esperado desfavorablemente y el valor objetivo (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

Cuando la tasa de riesgo calculada es superior a uno el impacto será positivo, ya que se considera que hay más oportunidades que riesgos. Por contraposición, cuando el coeficiente de riesgo es inferior a uno, significa que la alternativa tiene mayor número de probabilidades de no alcanzar el objetivo esperado que de superarlo, como se ve en la Ilustración 39.

Ilustración 39. Tasa de riesgo de un impacto.

Fuente (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017)



En definitiva, se comparan varios tipos de histogramas para obtener todas las alternativas si se desconoce el valor objetivo. Todas las alternativas pueden ser evaluadas y se establecen unos valores objetivo y unos límites de decisión. Por último, se puede calcular un ratio de riesgo que permite analizar con más detalle cada alternativa estudiada y ver si puede llevarse a cabo o no.

5.3.4. Ejecución del modelo

Una vez recopilados todos los datos y evaluado el proceso, se codificará el modelo y se ejecutará. La ejecución del modelo viene dada por una herramienta de un software que realiza los cálculos matemáticos del modelo y selecciona los métodos necesarios para recoger y poder visualizar los datos. Esta visualización tiene que ser aceptable a las necesidades especificadas por la empresa.

Una vez programado el modelo incluyendo en este todas las funciones financieras relacionadas con él, se verifican los datos y se introducen de acuerdo a las funciones que se han diseñado para estudiar el impacto financiero. Este proceso depende del software, del hardware, de la cantidad de funciones modeladas y del número de iteraciones de simulación (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

5.3.5. Análisis de resultados

Una vez obtenido el resultado para apoyar o no a la inversión financiera, se analizan los criterios y las hipótesis del modelo. Se realizan unos histogramas para la distribución de probabilidad, una cartera de evaluación y un ratio de riesgo, aplicando y seleccionando los indicadores de riesgos adicionales en los casos que sea necesario.

También se realiza un análisis de sensibilidad para analizar el impacto de la variación de los parámetros de entrada del modelo y la función de monetarización. Si el análisis muestra una gran variación del VAN, debe reducirse esa incertidumbre. Por último, los resultados y el análisis obtenidos pueden ser utilizados para la toma de decisiones.

Este método presentado anteriormente se ha utilizado para evaluar la implantación de una línea de montaje semiautomática de motores eléctricos de ajuste del asiento. Esta línea está basada en siete puestos de trabajo manuales, uno semiautomático, dos puestos de trabajo totalmente automatizados y uno de control de calidad manual (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

Además, a esta línea se le ha incorporado un sistema de ejecución de la fabricación que permite un control de la producción y una distribución de la información. Los procedimientos de configuración de esta máquina están totalmente automatizados, basados en una entrada de video óptica, y tienen un periodo de evaluación de cuatro años.

En la selección de criterios se han obtenido dieciséis criterios cualitativos y cuantitativos, no monetarios, que permiten evaluar las ventajas de las tecnologías que se van a implantar. Luego se seleccionarán todos los criterios monetarios, dando como resultado datos obtenidos mediante estimaciones.

En la evaluación del modelo se han obtenido datos difusos, con los que se puede evaluar la incertidumbre lingüística, y modelos estocásticos que, mediante distribuciones de probabilidad, representan la incertidumbre estocástica. Se realizan funciones de monetarización para los criterios no monetarios y mediante una simulación de Monte-Carlo se obtienen los resultados, para calcular el ratio de riesgo y evaluar los resultados.

Los resultados de la implantación de la línea de montaje cibernética indicaban que era factible y excedía el valor objetivo, mientras que la línea de montaje base no alcanzaba dicho valor. Por tanto, la empresa debería adaptar la línea cibernética para mejorar el sistema de producción y satisfacer a los clientes.

En definitiva, la implementación del Manufacturing Systems 4.0 se mejora por medio de un enfoque estructurado y basado en la práctica. Gracias a ello, se logra comprender mejor los sistemas de fabricación ciberfísicos. Además, los responsables de la toma de decisiones obtienen la oportunidad y el riesgo de introducir este tipo de sistemas que les ayudará a tomar decisiones de una forma transparente y completa (Liebrecht, Jacob, Kuhnle, & Lanza, 2017).

5.4. Tendencias de mejora de los procesos más importantes en los sistemas de fabricación.

El objetivo que tiene la Industria 4.0 es realizar una producción en masa con un coste específico en la fabricación. Cuando esto se logra, se satisfacen las necesidades de los clientes de una forma rápida y eficaz. Para alcanzar este objetivo hoy en día se utiliza la Industria 4.0 con la que se mejoran tres aspectos: la aplicación de modelos de simulación, la mejora del método de mapeo del flujo de valor, y las soluciones de la nueva elaboración de una logística inteligente (Tamás & Illés, 2016).

5.4.1. Aplicación de modelos de simulación

La complejidad de los procesos cada vez es mayor, haciendo que crezca la complejidad de los modelos simulados. Para ello, se utiliza un método que permite modelar de forma realista los sistemas y evaluar su comportamiento. Algunos de los objetivos de este modelo son: la eliminación de fallos en la planificación, la optimización de la planificación, la obtención de nuevos resultados o el apoyo a los talleres Kaizen.

En el mercado se pueden encontrar varios *frameworks* o marcos de simulación entre los que se distinguen, por ejemplo, Plant Simulation, Arena y Simul8. Estos marcos se utilizan para simplificar los procesos de investigación de los sistemas productivos. En estas investigaciones basadas en la simulación se pueden distinguir varios pasos.

En primer lugar, *se determina el objetivo*, imponiendo unos límites en los sistemas que se van a examinar. Es importante determinar de una manera clara y sencilla el objetivo antes de realizar el programa de simulación para designar las áreas que se van a examinar (Tamás & Illés, 2016).

Luego se trata de *comprender bien el funcionamiento del sistema* que se va a examinar. Los encargados de la simulación deben entender perfectamente el funcionamiento del sistema y el flujo de materiales, para así poder tener en cuenta los aspectos más importantes del sistema para el modelo simulado.

En tercer lugar, *se determinan los indicadores del sistema* para que estos permitan una comparación y una evaluación de los resultados obtenidos en la simulación. Se determinan los datos de entrada y salida. Estos datos no están siempre disponibles: en muchos casos, el equipo decide cómo crear estos datos, bien por medio de estimaciones o bien a través de mediciones sobre el terreno.

A continuación, *se crea el modelo de simulación* a partir de la información disponible y se examina el funcionamiento del sistema simulado a través de los datos de entrada introducidos. Se controla y repara el modelo de simulación para calibrarlo con el equipo profesional. En muchos casos, es necesario modificar el modelo porque no tiene una gran precisión.

Por último, *se evalúan los resultados obtenidos*. Con el análisis de estos datos se elaboran propuestas para la mejora de los sistemas de la empresa. Por ello, el modelado de simulación de los sistemas de la empresa tiene un papel importante para mejorar la eficacia de los procesos de la industria (Tamás & Illés, 2016).

5.4.2. Mejora del Método de Mapeo de Flujo de Valor

En el método de mapeo por flujo de valor, el objetivo es reducir los residuos mejorando los procesos logísticos. Este método se ha utilizado para mejorar los procesos de las líneas de productos. No puede utilizarse con la eficiencia adecuada en sistemas logísticos complejos. Se distinguen dos tipos de mapeo dentro de este método: el mapeo estático y el mapeo dinámico.

El método de mapeo de flujo de valor estático se utiliza para los exámenes de procesos de líneas de productos, y el método de mapeo de flujo de valor dinámico se utiliza para el examen de sistemas logísticos complejos. Este último tiene mayor complejidad debido a la complejidad de los procesos. Este método está formado por varios pasos.

En primer lugar, se asignan los sistemas logísticos examinados y se nombra un gestor del método y del flujo de valores para la línea de productos. Este gestor es el responsable de que el flujo mejore con el avance del método.

Luego, se realiza el mapa dinámico del flujo de valor. Los gestores estudian y conocen el flujo de materiales e información y son los encargados de recoger los datos que se producen en el sistema. A continuación, aportan ideas para realizar el mapa dinámico para el flujo de valor con uno de los marcos de simulación (Tamás & Illés, 2016).

Posteriormente, se crea el mapa dinámico de flujo de valor. Los datos que se han recogido son registrados en la estructura de los datos, lo que permite crear el modelo de simulación por medio de un marco. Se elaboran diferentes estructuras de datos y se realiza la simulación de los sistemas de fabricación.

Luego se realiza un análisis de los parámetros obtenidos y se crea un mapa de los problemas generados. Se analizan los efectos de las modificaciones y los parámetros de los sistemas logísticos que han permitido realizar el mapa dinámico. Se registran los datos obtenidos y se introducen las mejoras en el proceso, lo que provoca una adaptación de la estructura del modelo en función de los datos obtenidos.

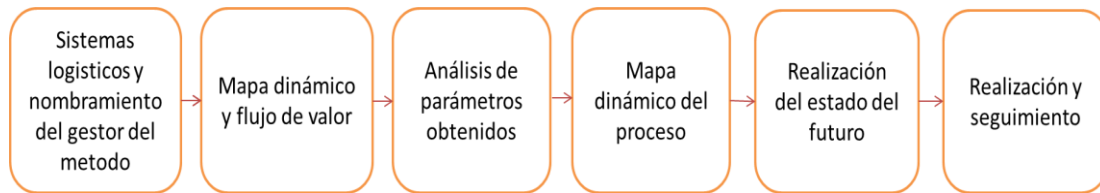
Se realiza el mapa dinámico del proceso. Se crea automáticamente a partir de los datos que se han obtenido de la investigación teniendo en cuenta los objetivos establecidos. Para ello se elabora un algoritmo que genere variaciones del sistema y permita la selección de la mejor variación.

A continuación, se realiza el estado del futuro. Consiste en marcar los bucles del mapa de flujo de valor en el mapa del proceso y crear una lista de tareas para cada bucle creado. Una vez realizada la lista de tareas se hace un plan anual del flujo de valor que englobe los siguientes contenidos: programación de la realización de tareas asignadas,

elección de los responsables de la implementación, lista de indicadores de objetivos que deben alcanzarse y el seguimiento de la aplicación.

Por último, se encuentran la realización y su seguimiento. Estos son los pasos que forman la asignación del flujo de valores en una simulación. Estos pasos pueden estar retroalimentados si el mapa de estado no contiene la información necesaria para realizar el mapa de estado futuro o cuando el estado futuro ya se ha realizado, se puede ejecutar un nuevo examen desde el segundo paso. Todo el proceso lo podemos encontrar en la **Ilustración 40**, que encontramos a continuación (Tamás & Illés, 2016).

Ilustración 40. Flujo del método de mapeo



5.4.3. Soluciones de nueva elaboración de logística inteligente

Este tipo de soluciones utilizan dispositivos o sistemas que son capaces de responder ante cambios del entorno externo. De esta manera, se logra una mayor reducción de los residuos y mejora las soluciones. Esta reducción de los residuos se obtiene gracias a la reducción del tiempo de espera de las tareas que se realizan y a hacer más eficiente la utilización de los recursos humanos y las máquinas (Tamás & Illés, 2016).

Entre las soluciones logísticas en el área de producción se pueden distinguir las siguientes:

- Los dispositivos o sistemas inteligentes de identificación. Estos dispositivos envían mensajes provocados por los cambios desfavorables del sistema; por ejemplo, cuando la temperatura o la humedad están por encima o por debajo de unos valores preestablecidos.
- Los equipos tecnológicos inteligentes. Estos equipos fabrican de forma automatizada a partir de los datos que se producen en los dispositivos de identificación, previsiones de fallos, uso de los sensores, etc.
- El control de la calidad inteligente. Un ejemplo sería que las máquinas realicen el control de calidad por etiquetas de radiofrecuencia ubicadas en el producto.
- Los equipos inteligentes de manipulación de materiales. El trabajo automatizado en los sistemas sería un ejemplo.
- Los almacenes inteligentes. Se producen pedidos automáticos en base a como se reduce el stock mediante sensores en los puestos de carga.
- Los sistemas logísticos inteligentes. Estos sistemas estarán automatizados parcial o totalmente con aplicaciones de dispositivos de la Industria 4.0, basados en las comunicaciones hombre-máquina y máquina-máquina (Tamás & Illés, 2016).

Conclusiones

Introducción

Este apartado de la memoria describe el cumplimiento del objetivo principal, basándose en una síntesis que analiza cómo hemos llegado hasta él. Este objetivo, como hemos explicado en la introducción, se basa en conocer cómo las industrias han ido renovando las herramientas Lean con la llegada de las TIC, lo que ha permitido a las empresas mejorar sus estrategias en la actualidad.

Para el desarrollo de este apartado se utilizará la estructura que se ha seguido durante todo el trabajo, realizando una pequeña síntesis de los puntos más importantes del trabajo desarrollado, que nos han permitido alcanzar el objetivo principal del TFG.

A continuación, se proponen una serie de medidas orientadas al futuro de los procesos y las herramientas que pueden mejorar los aspectos que se han tratado con anterioridad. Estas medidas las conoceremos como líneas futuras y permiten seguir trabajando en un futuro para seguir actualizando las herramientas Lean a través de las TIC.

Conclusiones

El principal objetivo del trabajo de fin de grado se basaba en la explicación de cómo se han ido renovando las industrias, sobre todo en las últimas décadas, en lo que las herramientas Lean utilizadas en estas se refiere, gracias a la llegada de las TIC. Para ello

ha sido necesario, en un principio, dar a conocer esta filosofía, sus principales herramientas, y lo que es el IoT

La aplicación del Lean Manufacturing es fundamental para los sistemas productivos de las empresas. Por ello, hemos definido en qué se basa esta filosofía, centrándonos en sus orígenes, en los despilfarros que las empresas desean eliminar y, sobre todo, en sus herramientas para conseguir la eliminación de estos despilfarros.

Entre sus herramientas hemos destacado las más importantes que son: las 5S (*seiri, seiton, seiso, seiketsu* y *shitsuke*), que son las que tratan de eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y disciplinar en el puesto de trabajo; el *heijunka*; el kanban; el SMED; el TPM y el *Jidoka*.

En el transcurso de los años se ha demostrado que la aplicación de estas herramientas mejora los puestos de los operarios y el resultado final de una línea de producción. A través de ellas, la empresa consigue una reducción de costes y de tiempo de fabricación, pero, además, se facilitan las tareas de los puestos de trabajo, lo que genera una mayor fluidez en la fabricación y una mayor calidad en los productos finales

Estas herramientas fueron creadas hace tiempo, lo que genera necesidades de que evolucionen para no quedarse obsoletas en las empresas. La mayor evolución que han sufrido algunas de ellas ha sido en la llegada de la Cuarta Revolución Industrial, con la aparición de las TIC y, en concreto, con el Internet de las Cosas.

Con la llegada del IoT aparecen aplicaciones como las ciudades inteligentes, el transporte y la movilidad inteligente, las casas inteligentes, etc. No obstante, el trabajo se centra las aplicaciones en las industrias; por ello, nos hemos centrado en las *SmartFactory* o fábricas inteligentes. Estas fábricas inteligentes alojan principalmente los productos inteligentes, las máquinas inteligentes y los operadores inteligentes.

La filosofía Lean desafía los sistemas de producción en masa, los cuales generan productos de gran calidad orientados a los clientes de las industrias, tratando como residuos todo aquello que no genere valor para el producto de su proceso productivo. Esto se resume en la gran flexibilidad de estos procesos de producción. Para lograr esto se han integrado las TIC por medio del IoT en las herramientas utilizadas. De esta manera, se ha generado una producción ajustada de productos inteligentes, máquinas y operadores, que permiten la generación de la fábrica inteligente o *SmartFactory*.

En resumen, se puede decir que las fábricas inteligentes son consideradas una perspectiva de futuro debido a su aporte de valor añadido a los productos y a los sistemas gracias a la combinación entre las herramientas Lean y el IoT, aplicando esta combinación a los sistemas productivos tradicionales para conseguir modernizarlos y realizar nuevos tipos de productos que sustituyan a los tradicionales.

Como hemos señalado anteriormente, el Lean Manufacturing y la Industria 4.0 necesitan una integración a medida que los tiempos van avanzando. Para ello, aparecen factores que favorecen dicha integración entre los que se distinguen los factores del proveedor, del cliente, del proceso y el control y los factores humanos.

Cabe destacar que no todas las industrias tienen éxito en la implantación de dichos conceptos. En el documento se han recogido los desafíos y barreras que tiene la integración del Lean desde la perspectiva de esta integración y se ha evaluado cómo se puede implementar el Lean a través de las tecnologías de la Industria 4.0, es decir, alcanzar el objetivo del trabajo.

A través de las TIC, se han superado diferencias que se encontraban en las prácticas convencionales realizadas para mejorar la productividad y eliminar los desechos. Esto ha implicado que las industrias en la actualidad obtienen beneficios de esta integración a tiempo real con una mínima garantía de generación de residuos, lo que hace que las empresas sean más eficientes.

Sin embargo, no dejarán de aparecer nuevas demandas en la investigación que resaltan la necesidad de la mejora continua. El aumento de los potenciales de cálculo y las disminuciones de tamaño se traducen también en una nueva evolución de las TIC. Por ello, las mejoras y adaptaciones generadas por la evolución de estas se deben analizar en función de la influencia que tengan en los procesos de fabricación.

Algunas investigaciones sobre la Industria 4.0 en el Lean son puramente teóricas, lo que hace que no sea tan fácil su adaptación a una aplicación. Por ello, es necesario desarrollar investigaciones orientadas a la aplicación de estas a las herramientas Lean y a los sistemas de producción, integrándolas en entornos de producción puramente funcionales.

Por otra parte, se sabe que entre los sistemas de producción Lean y la Industria 4.0 aparecen unas notables interdependencias. Para llegar a ellas se han estudiado varios casos relativos a objetos donde se ha implementado el IoT a procesos relacionados con la Industria 4.0, lo que permite a las empresas realizar procesos de selección a nivel individual de los procesos y los productos para saber cuáles implementar y cuáles no, y mejorar sus procesos basados en la filosofía Lean y la Industria 4.0.

Es necesario establecer un marco integral que combine las soluciones que ofrece la Industria 4.0 con las herramientas Lean, en concreto, que combine las estaciones de trabajo manuales con las automatizadas. Con los sistemas ciberfísicos se encuentran soluciones de hardware, pero es necesario un estándar específico para controlar correctamente los procesos automatizados en el Lean.

Para la solución de los mayores problemas de la empresa aparece el Manufacturing Systems 4.0, que ayuda a las empresas a lograr sus objetivos a través de sensores y controladores interconectados, para evaluar los sistemas de fabricación 4.0. Para ello, en primer lugar, establece el alcance de la evaluación. Se seleccionan los criterios monetarios y no monetarios pertinentes en función de los objetivos estratégicos de la empresa y de las implementaciones planificadas.

Luego se recopilan los datos correspondientes y se utiliza un modelo de evaluación. Se realiza una simulación obteniendo los resultados en una distribución de probabilidad de valor real. Esto hace que surjan indicadores del análisis de riesgo para analizar el riesgo y los potenciales del sistema de fabricación que estamos evaluando.

Se realizarán investigaciones futuras centradas en los criterios más específicos de las tecnologías de los sistemas ciberfísicos y referidas a funciones de monetarización. Además, se integrará un enfoque transparente para integrar las interdependencias de los criterios que se han utilizado.

El modelo de evaluación que se ha presentado puede adaptarse de varias maneras que muestran las ventajas tecnológicas y financieras a través del Manufacturing Systems 4.0. Las mediciones de los potenciales tecnológicos en los sistemas de fabricación y las capacidades tecnológicas también son evaluadas en presencia de sistemas de fabricación ciberfísicos desarrollando modelos específicos de madurez.

Con lo expresado en la memoria, el método que hemos utilizado rescata beneficios del Manufacturing Systems 4.0. Para ello, es necesario mantener el equilibrio entre la modernización de las herramientas Lean a través de la Industria 4.0 y la aplicación y comprensión de los métodos de evaluación de estas. Este método mejora la comprensión de la fabricación a través de sistemas ciberfísicos, y ayuda a las empresas a tomar decisiones de forma transparente y completa.

Por otra parte, en el presente documento, se ha introducido un área muy importante sobre las tendencias de mejora que tienen los procesos para los sistemas de fabricación en la Industria 4.0. El objetivo de la Industria 4.0 es realizar una fabricación intermitente con la productividad, ayudando a las herramientas Lean a conseguirlo.

Este objetivo se alcanzará si se mejora continuamente el proceso. Para ello, aparecen el IoT, los sistemas ciberfísicos y el Big Data, que crean nuevas posibilidades para actuar de una manera más eficiente y mejorar continuamente los sistemas de fabricación, en concreto, en los que se ha aplicado el Lean Manufacturing. La comunicación entre dispositivos, la información derivada de los seguimientos de los productos y las posibilidades de colaborar en red, proporcionan mejoras de los procesos para las empresas, y ayuda a conseguir el objetivo principal planteado.

En definitiva, la nueva era de la Industria 4.0 demanda cada día nuevas herramientas Lean combinadas con las tecnologías existentes que permiten a los operadores, directivos e ingenieros tener un mayor control y seguimiento de los nuevos procesos de producción que se instalan en las industrias.

El Internet de las Cosas es una de las más grandes soluciones para integrar y proporcionar un mejor uso de los recursos que se dan en los talleres. Además, hoy en día, las máquinas industriales suelen tener interfaces hombre-máquina limitadas ya que no están estandarizadas.

Para ello se proponen soluciones basadas en IoT y de bajo consumo. Esto permite a los operadores conectarse automáticamente a las máquinas más cercanas, además de permitirle monitorizar y controlar la máquina. Un ejemplo de esto serían las impresoras 3D. Estos dispositivos permiten recoger todo tipo de datos del taller para presentárselos a los encargados de las tomas de decisiones a tiempo real, lo que permite mejorar los procesos de fabricación.

Los conceptos de la Industria 4.0 conocidos contribuyen significativamente a ayudar a las herramientas Lean y a los procesos de fabricación en muchos sectores de la industria, y además promueven beneficios como por ejemplo la productividad, la estandarización, la ergonomía, el mantenimiento, la mano de obra, la innovación, etc. basados en el Internet de las Cosas, que conecta el mundo digital con el mundo real.

Para finalizar, podemos dar por alcanzado el objetivo. Hemos investigado como las TIC se han introducido con la llegada de la Industria 4.0 en las herramientas Lean para renovarlas y mejorarlas, para que no se queden obsoletas y sigan haciendo su función como hasta ahora, o mejorándola, en las empresas. Esto no se queda aquí. Con el avance de las tecnologías estas herramientas se seguirán renovando con el paso de los años, por el bien de las empresas.

Líneas futuras

En este último apartado describiremos las líneas futuras del trabajo realizado, es decir, lo que se puede hacer para continuar con la labor desarrollada durante todo el documento. También se presentará una serie de propuestas orientadas a guiar una investigación futura en este ámbito de estudio. Para ello, buscaremos innovaciones en herramientas Lean que puedan seguir trabajándose en el futuro para la mejora de los procesos productivos.

El fin principal trata de que se mejoren y optimicen los modelos de funcionamiento de los sistemas productivos para aumentar sus beneficios y reducir sus costes a través de las herramientas Lean, actualizando estas a través de las nuevas tecnologías que se han ido dando a conocer en los últimos años.

Con el fin de continuar con la investigación realizada, las tecnologías continuarán evolucionando con el paso de los años, por lo que hay que estudiar cómo seguir combinándolas con las herramientas Lean, como hemos hecho hasta ahora, para una mejora de los procesos productivos de las industrias.

Teniendo en cuenta que se ha estudiado la filosofía Lean, la mejora continua es uno de sus pilares fundamentales, por lo que siempre se podrán perfeccionar los escenarios estudiados. Más aun sucede esto con el avance de las nuevas tecnologías y los nuevos dispositivos inteligentes que se diseñan habitualmente.

En un futuro, no muy lejano, se crearán nuevas tecnologías y nuevos dispositivos que sean capaces de adaptarse a la fabricación de las empresas. Esto implica que deberán realizarse estudios de viabilidad de estas innovaciones tecnológicas en el ámbito de las herramientas Lean para decidir sobre su implantación o no, y si son rentables o no para las empresas.

Como en las implantaciones de las nuevas TIC que se han encontrado hasta el momento, las que surjan en un futuro generarán unos nuevos desafíos y unos beneficios en los sistemas productivos de las empresas y, además, mejorarán estos procesos

productivos de la misma manera que lo han hecho hasta ahora las innovaciones implantadas en este ámbito como, por ejemplo, reduciendo despilfarros, reduciendo costes de producción, aumentando el beneficio de las empresas o añadiendo valor a los productos fabricados.

Fruto de esta investigación y estudio de las nuevas tecnologías o nuevos métodos que innoven las herramientas Lean, se generarán nuevamente necesidades de capacitación e integración de estas en las herramientas utilizadas en la fabricación que deberán ser estudiadas, ampliando en la medida de lo posible lo que ya se ha estudiado en este documento.

Todas las empresas tienen competidores directos, por ello, una vez realizado el estudio de integración de las innovaciones que se vayan a intentar implantar será necesario que este sea confidencial. Además, pueden surgir nuevas formas o métodos de fabricación que pueden añadir gran valor a los productos y que también deberán ser estudiados.

Por último, en la investigación de la implantación de las nuevas tecnologías, se realizarán evaluaciones por medio de métodos, nuevos o antiguos, que aporten a la empresa la viabilidad de la implantación de estas técnicas. Para ello, se realizarán simulaciones o estudios futuros que permitan llegar a una correcta conclusión de si implantar o no dicha tecnología en las herramientas Lean utilizadas por la industria.

A continuación, se proponen una serie de investigaciones futuras que pueden ampliar la estrategia de la empresa en este ámbito. Una de estas importantes herramientas a mejorar mediante las TIC es el Kaizen o mejora continua. Esta herramienta se puede tratar como una filosofía o una cultura dentro de la empresa, por lo que implica toda la organización dentro de esta, desde los gerentes de la industria hasta los operarios. Para ello, cada implicado debe medir unos indicadores que permitan mejorar los procesos: no se puede mejorar aquello que no se puede medir.

Sería interesante encontrar la manera de que todos los implicados tengan un nexo común de unión a través de la tecnología o el IoT para que todos puedan expresar su opinión siendo considerada la de cada uno de la misma manera, y los datos que han obtenido a través de sus mediciones. Cada participante, ya sea un operario o un alto cargo de la empresa, puede darse cuenta de posibles mejoras o posibles deficiencias dentro de los sistemas productivos a través de los análisis de los datos medidos, exponer esa mejora o deficiencia en un medio común a través de internet, y que todos los implicados puedan valorarla para mejorar el proceso.

Como todos los procesos de producción pueden ser mejorados, también pueden contribuir los clientes a su mejora a través de las TIC. Los clientes pueden analizar el producto final, realizando controles de calidad de este, y expresar a las organizaciones su opinión acerca del mismo. Por ello, las empresas pueden analizar los datos obtenidos de las opiniones de los clientes a través de indicadores de calidad, lo que les puede hacer mejorar los procesos, lo que entraría dentro del Kaizen.

Otro de los temas que se pueden tratar para mejorar los procesos productivos y las herramientas a través de las TIC, es el mantenimiento predictivo. Con este la empresa

consigue anticiparse a necesidades y evitar tiempos de inactividad no programados mediante conexiones y supervisiones de los sistemas. Estos sistemas pueden estar conectados a dispositivos donde se generen datos que un equipo dentro de una organización se encargue de analizar para mejorar los procesos.

Estos datos pueden generarse en una nube o una aplicación para los SmartPhone. Estos datos son generados por sensores y actuadores situados en los procesos, generando unos indicadores, por ejemplo, de tiempos, frecuencias, paradas en las instalaciones, etc., que pueden ayudar a mejorar herramientas como el SMED, reduciendo tiempos de cambios de utillaje y cambios de herramienta.

Para que esto funcione es necesario que se apliquen correctamente otras herramientas como las 5S, ya que si no sucede eso, se originarán problemas de tiempos y pérdidas de oportunidades para mejorar este proceso. Por ello, sería necesaria la intervención del IoT para la supervisión de las aplicaciones de las herramientas necesarias para que se produzca la mejora continua en los procesos.

Una nueva manera de introducir las TIC en los procesos productivos y, en concreto, en las herramientas Lean, puede ser a través de la supervisión de los nuevos elementos de estos sistemas. Los sistemas pueden estar conectados y ser supervisados desde dispositivos inteligentes donde se analizan los datos aprovechados y permiten mejorar los resultados de las empresas por medio de la automatización.

En la actualidad se pueden medir diferentes variables y parámetros como las frecuencias de giro de una pieza, las temperaturas alcanzadas por una cuchilla, las ubicaciones donde se encuentran ciertos utillajes o stocks, etc. Estos valores más concretos pueden ser recopilados también digitalmente, lo que permite tratar dichas herramientas para introducir cambios, por ejemplo en materiales, que permitan una mejora del proceso y ahorros de costes para las empresas.

Los procesos productivos y las herramientas conectadas a internet o automatizados y conectados a dispositivos, también tienen debilidades. Una de las principales debilidades es el recibimiento de ciberataques que pueden amenazar la continuidad de la actividad empresarial de la empresa.

Por ello, también es necesario que las empresas inviertan en tecnología para mejorar su propia seguridad y sus estrategias. Para ello, también lo pueden hacer a través de la tecnología y los elementos conectados dentro de la empresa, que minimicen los riesgos de ataque desde lugares externos a esta.

Es cierto que las empresas para cada una de estas mejoras necesitan tener personal cualificado, que se encargue específicamente de esto para que la empresa note la mejora, además de incentivar a todos los implicados en las mejoras para que lo realicen de la mejor manera posible. Para ello las direcciones de las organizaciones crean gratificaciones, normalmente económicas, que ayudan a una mayor implicación de la plantilla.

Para finalizar esta serie de propuestas, podemos dar por alcanzado el objetivo de plantear nuevas aplicaciones de las TIC a sistemas productivos y herramientas Lean que

CONCLUSIONES

permitan a las empresas mejorar sus deficiencias y puntos frágiles. Con el paso de los años las empresas seguirán invirtiendo en estas tecnologías que mejoren los procesos y las herramientas Lean, ya que una industria que combine el Lean y el IoT tiene el éxito asegurado.

Bibliografía

- Liebrecht, C., Jacob, A., Kuhnle, A., & Lanza, G. (2017). Multi-Criteria Evaluation of Manufacturing Systems 4.0 under Uncertainty. *ScienceDirect*, 224-229.
- Araújo Araújo, J. (2017). Tema 8. Lean Manufacturing. En J. Araújo Araújo, *Dirección de Operaciones*. Valladolid.
- Auschitzky, E., Hammer, M., & Rajagopaul, A. (Julio de 2014). *How big data can*. Obtenido de How big data can: file:///C:/Users/David/Downloads/2014.01-A-How-big-data-can-improve-manufacturing--McKinsey-Company%20(2).pdf
- Barbosa, G., & Aroca, R. (2017). An IoT-Based Solution for Control and Monitoring of Additive Manufacturing Processes. *Jornal of Powder Metallurgy & Mining*.
- Bogdan, N. (2013). About Big Data and its Challenges and Benefits in Manufacturing. *Database Systems JournalvolIV*, 10-19.
- Cárdenas, Á. (Marzo de 2017). *Acelera tu Start-up de Smart Agri con Impact Growth*. Obtenido de Acelera tu Start-up de Smart Agri con Impact Growth: <https://secmotic.com/acelera-start-up-smart-agri-impact/>
- CDI Lean Manufacturing S.L. (2012). *CDI LEAN. TPM: MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL*. Obtenido de CDI LEAN. TPM: MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL: <http://www.cdiconsultoria.es/metodo-tpm-mantenimiento-productivo-total-valencia>
- Cirani, S. (2018). *Internet of Energy: Residential Building Ecosystem*. Obtenido de Internet of Energy: Residential Building Ecosystem:

- https://www.researchgate.net/figure/Internet-of-Energy-Residential-Building-Ecosystem-102_fig20_278798179
- Contramuro. (Febrero de 2017). *Casa inteligente al alcance del bolsillo*. Obtenido de Casa inteligente al alcance del bolsillo: <https://www.contramuro.com/casa-inteligente-al-alcance-del-bolsillo/>
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use cases analysis - . *ScienceDirect*, 1061-1068.
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas. Como la proxima evolucion de Internet lo cambia todo*.
- Fehrenbacher, K. (Agosto de 2011). *Gigaom | Duke Energy embraces cellular for smart grid*. Obtenido de Gigaom | Duke Energy embraces cellular for smart grid: <https://gigaom.com/2011/08/19/duke-energy-embraces-cellular-for-smart-grid/>
- Gil García, M., Sanz Angulo, P., de Benito Martín, J., & Galindo Melero, J. (2012). *Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED*. Obtenido de Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/83/1228/a1228.pdf>
- González Correa, F. (2007). Manufactura esbelta (Lean manufacturing). Principales herramientas. *Panorama Administrativo*, 85-111.
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*.
- Hidalgo Castro, B., González Jiménez, J., & Murillo Castro, R. (Septiembre de 2017). *El Internet del las cosas*. Obtenido de <http://alfarosolis.com/content/PDFs/IF7100/Semana14/Iot.pdf>
- HMK Automation Group Ltd . (2018). *What is a Smart Factory?* Obtenido de What is a Smart Factory?: <https://www.hmkdirect.com/blog/what-is-a-smart-factory-/>
- Idris, H. (Febrero de 2017). *Patient remote monitoring tools/devices*. Obtenido de Patient remote monitoring tools/devices: <http://toolanddevices.blogspot.com/>
- Jurado Pérez, L., Velásquez Vargas Washington, A., & Vinueza Escobar, N. (2014). *Estado del Arte de las Arquitecturas de Internet de las Cosas (IoT)*. Obtenido de Estado del Arte de las Arquitecturas de Internet de las Cosas (IoT): https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33823351/MasterTelematic_a_TrabajoFinalAsignatura_Arquitectura_y_Gestion_de_Servicios_Telematicos_v33.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1542651630&Signature=vsw6XVCVuN0DRBMmrs4iYnhVW0%3D&respon
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *ScienceDirect*, 1870-1875.
- Mrugalska, B., & K. Wyrwicka, M. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *ScienceDirect*, 466-473.

- NCtech. (Marzo de 2018). *¿Cómo Combatir Los Desperdicios Industriales O Mudas?* Obtenido de *¿Cómo Combatir Los Desperdicios Industriales O Mudas?*: <http://blog.nctech.com.mx/desperdicios-industriales-o-mudas-como-convatirlos>
- Outsmart Assistance. (2018). *Outsmart Assistance*. Obtenido de Outsmart Assistance: <http://www.outsmartinstalaciones.com/>
- PowerData. (2015). *Big Data: ¿En qué consiste? Su importancia, desafíos y gobernabilidad*. Obtenido de Big Data: *¿En qué consiste? Su importancia, desafíos y gobernabilidad*: <https://www.powerdata.es/big-data>
- Rajadell y Sánchez, M. R. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Rajadell, M., & Sánchez, J. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Salazar López, B. (2016). *Herramientas para el ingeniero industrial*. Obtenido de Herramientas para el ingeniero industrial: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/heijunka-nivelacion-de-la-produccion/>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. En *Journal of Industrial Engineering and Menagemente* (págs. 811-833). Germany.
- Shutterstock. (2018). *SHUTTERSTOCK*. Obtenido de SHUTTERSTOCK: <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/smart-factory-industry-40-monitoring-app-1034340592>
- SHW WEB TEAM. (Marzo de 2018). *SMART HOME SECURITY FOR BEGINNERS*. Obtenido de SMART HOME SECURITY FOR BEGINNERS: <https://smarthomeworks.com.au/2018/03/05/smart-home-security-for-beginners/>
- SmartSantander. (2013). *FP7 Smart Santander Project*. Obtenido de FP7 Smart Santander Project: https://cordis.europa.eu/project/rcn/95933_es.html
- Suzuki, T. (1992). *TPM en industrias de proceso*. Routledge.
- Tamás , P., & Illés, B. (2016). PROCESS IMPROVEMENT TRENDS FOR MANUFACTURING SYSTEMS IN INDUSTRY 4.0. *ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING*, 119-125.
- Vega, R. (Octubre de 2015). *6 Características clave del Internet de las Cosas*. Obtenido de 6 Características clave del Internet de las Cosas: <https://ricveal.com/blog/6-caracteristicas-clave-del-internet-de-las-cosas/>
- Vermesan, O., & Friess, P. (2013). *Internet of Things - Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. Aalborg: River Publishers.

BIBLIOGRAFÍA

- VSI Labs. (Mayo de 2017). *THE INTERNET OF CARS*. Obtenido de THE INTERNET OF CARS: <https://vsi-labs.com/knowledge/2017/5/4/the-internet-of-cars>
- Zhong, R., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *ScienceDirect*, 616-630.