



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER N.º 19010014

**MODELO METODOLÓGICO DE IMPLANTACIÓN LEAN DIGITAL
INDUSTRIA 4.0**

D. PÉREZ PELÁEZ, ALBERTO

TUTOR: D. FELIPE PEDRO ÁLVAREZ RABANAL

COTUTOR: D. MIGUEL ÁNGEL ACERO ÁLVAREZ

JULIO 2019

Índice Capítulos

1.	Introducción	13
1.1.-	Origen y materia	13
1.1.1.-	Objetivos	15
1.2.-	Método de investigación y estructura	15
2.	Transformación Digital	16
2.1.-	Introducción	16
2.2.-	Industria 4.0	17
2.3.-	Estado actual: empresas españolas	18
2.4.-	Habilitadores Digitales	21
2.4.1.-	Hibridación mundo físico y digital	24
2.4.2.-	Comunicaciones y tratamiento de datos, conectividad	24
2.4.3.-	Aplicaciones de gestión.....	25
2.5.-	Retos Industria 4.0	27
2.6.-	Análisis metodologías de referencia Industria 4.0.....	29
2.6.1.-	Dimensiones clave	30
2.6.2.-	Puntos diferenciales	31
2.6.3.-	Conclusiones	32
3.	Lean manufacturing.....	34
3.1.-	Definición	34
3.2.-	Principios lean manufacturing	35
3.3.-	Objetivos lean manufacturing.....	38
3.4.-	Análisis metodologías implantación lean manufacturing.....	40

3.4.1.-	Conclusiones	44
4.	Lean digital industria 4.0.....	46
4.1.-	Introducción	46
4.2.-	Estado del arte: Integración lean manufacturing e Industria 4.0	46
4.2.1.-	Discordancias lean manufacturing e Industria 4.0	46
4.2.2.-	Sinergias lean manufacturing e Industria 4.0.....	50
4.3.-	Interacción lean manufacturing e Industria 4.0	52
4.3.1.-	Proveedores	53
4.3.2.-	Clientes.....	55
4.3.3.-	Procesos	56
4.3.4.-	Factores humanos y control	58
4.3.5.-	Conclusiones	59
5.	Modelo metodológico lean digital industria 4.0.....	61
5.1.-	Introducción	61
5.2.-	Dimensiones analizadas	61
5.2.1.-	Estrategia de Negocio y Mercado	62
5.2.2.-	Operaciones y Procesos.....	63
5.2.3.-	Productos y Servicios	63
5.2.4.-	Factor Humano.....	64
5.2.5.-	Comercialización y Relación Cliente.....	64
5.3.-	Herramienta de diagnóstico	65
5.3.1.-	Peso dimensiones y palancas	66
5.3.2.-	Requisitos LDI 4.0	69
5.3.3.-	Funcionamiento.....	69

5.4.-	Niveles	70
5.4.1.-	Rezagada	70
5.4.2.-	Competitiva.....	71
5.4.3.-	Avanzada.....	72
5.4.4.-	Líder	73
5.5.-	Acciones lean digital industria 4.0.....	74
5.6.-	Indicadores lean digital industria 4.0.....	76
5.7.-	Conclusiones	79
6.	Proceso de diagnóstico.....	80
6.1.-	Diagnóstico de la situación actual	80
6.1.1.-	Análisis interno/externo	81
6.1.2.-	Balance y formulación estratégica	83
6.2.-	Servicio lean digital industria 4.0	85
6.2.1.-	Definición del plan lean digital industria 4.0.....	85
6.2.2.-	Seguimiento y evaluación	88
7.	Conclusiones	89
7.1.-	Futuras Líneas de investigación.....	90
8.	Planificación y Presupuesto	92
8.1.-	Planificación de tareas	92
8.2.-	Presupuesto	95
8.2.1.-	Cálculo de costes.....	95
9.	Referencias Bibliográficas	99
10.	Webgrafía.....	101
	ANEXO I. Metodologías de referencia Industria 4.0.....	104

Industria Conectada (HADA).....	104
Enfoque.....	104
Niveles.....	105
Impuls.....	108
Enfoque.....	108
Niveles.....	109
BCG.....	110
Enfoque.....	110
Niveles.....	112
Accenture.....	113
Enfoque.....	113
Niveles.....	114
PwC.....	115
Enfoque.....	115
Niveles.....	117
ANEXO II. Herramienta de diagnóstico.....	118
ANEXO III. Descripción de Entregables.....	124
Informe de diagnóstico.....	124
Informe plan de transformación.....	124
Informe de seguimiento plan transformación.....	125
ANEXO IV. Ejemplo de informe de diagnóstico.....	126
Contexto de la empresa.....	126
Principales resultados de la fase de diagnóstico.....	127
Dimensión 1 – Estrategia de Negocio y Mercado.....	129

Dimensión 2 – Operaciones y Procesos	130
Dimensión 3 – Productos y Servicios.....	132
Dimensión 4 – Factor Humano.....	133
Dimensión 5 – Comercialización y Relación Cliente.....	134
Resumen diagnóstico.....	135
Descripción de los proyectos de implantación	137
Dimensión 1 – Estrategia de Negocio y Mercado (Competitiva-Avanzada)	137
Dimensión 2 – Operaciones y Procesos (Competitiva-Avanzada).....	137
Dimensión 3 – Productos y Servicios (Avanzada – Líder)	138
Dimensión 4 – Factor Humano (Competitiva-Avanzada).....	138
Dimensión 5 – Comercialización y Relación Cliente (Competitiva-Avanzada).....	139

Índice Figuras

1.	Introducción	13
	Figura 1.1. Evolución de la Industria.	14
2.	Transformación Digital	16
	Figura 2.1. Ecosistema Industria 4.0.	16
	Figura 2.2. Denominaciones Industria 4.0 en Europa.	18
	Figura 2.3. Clasificación países unión europea indice	19
	Figura 2.4. Estadísticas integración de la tecnología digital empresas españolas....	20
	Figura 2.5. Cadena de suministro conectada.....	27
3.	Lean manufacturing.....	34
	Figura 3.1. La casa del <i>lean manufacturing</i>	37
	Figura 3.2. Dimensiones <i>lean manufacturing</i>	38
	Figura 3.3. Ineficiencias <i>lean manufacturing</i>	40
4.	Lean digital industria 4.0.....	46
	Figura 4.1. <i>Lean manufacturing</i> vs Industria 4.0, c.	48
	Figura 4.2. Concepto de integración <i>lean manufacturing</i> e Industria 4.0.	49
	Figura 4.3. <i>Lean digital industria 4.0</i>	52
	Figura 4.4. Relación Proveedor/Fabricante.....	53
	Figura 4.5. Relación Fabricante/Cliente.....	55
	Figura 4.6. Sistema productivo <i>lean digital industria 4.0</i>	57
5.	Modelo metodológico lean digital industria 4.0.....	61
	Figura 5.1. Dimensiones <i>lean digital industria 4.0</i>	62
	Figura 5.2. Estructura análisis LDI 4.0.	65

Figura 5.3.	Herramienta de diagnóstico LDI 4.0.....	66
Figura 5.4.	Pesos dimensiones LDI 4.0.....	67
Figura 5.5.	Niveles <i>lean digital industria 4.0</i>	70
Figura 5.6.	Avance hacia <i>lean digital industria 4.0</i>	74
6.	Proceso de diagnóstico.	80
Figura 6.1.	Evaluación situación actual.....	81
Figura 6.2.	Balance del diagnóstico.	83
Figura 6.3.	Fases hoja de ruta <i>lean digital industria 4.0</i>	85
7.	Conclusiones	89
8.	Planificación y Presupuesto	92
Figura 8.1.	Diagrama de Gantt TFM.....	94
9.	Referencias Bibliográficas	99
10.	Webgrafía.....	101
ANEXO I.	Metodologías de referencia Industria 4.0.....	104
	Modelo de transformación digital HADA.....	105
	Dimensiones y Niveles.....	109
	Estructura metodología hacia la Industria 4.0.....	116
ANEXO II.	Herramienta de diagnóstico	118
ANEXO III.	Descripción de Entregables	124
ANEXO IV.	Ejemplo de informe de diagnóstico.....	126
	Análisis global Cosméticos MIES	127
	Comparativa nivel de dimensiones clave.....	128
	Analisis palancas Estrategia de Negocio y Mercado.	129
	Analisis palancas Operaciones y Procesos.....	131

Analisis palancas Productos y Servicios.	132
Analisis palancas Factor Humano.....	133
Analisis palancas Comercialización y Relación Cliente.	135

Índice Tablas

1.	Introducción	13
2.	Transformación Digital	16
Tabla 2.1.	Tecnologías habilitadoras generales utilizados en el modelo.	23
Tabla 2.2.	Retos sector Industrial.	28
Tabla 2.3.	Comparativa dimensiones clave.	30
Tabla 2.4.	Puntos diferenciales metodologías analizadas.	32
3.	Lean manufacturing.....	34
4.	Lean digital industria 4.0.....	46
Tabla 4.1.	Cuantificación mejora <i>Lean Industry 4.0</i>	51
Tabla 4.2.	Principio-Tecnología-Beneficio LDI 4.0.	60
5.	Modelo metodológico lean digital industria 4.0.....	61
Tabla 5.3.	Ponderación palancas.	68
Tabla 5.4.	Pesos dimensiones y palancas LDI 4.0.	69
Tabla 5.5.	Situación empresa rezagada.	71
Tabla 5.6.	Situación empresa competitiva.....	71
Tabla 5.7.	Situación empresa avanzada.....	72
Tabla 5.8.	Situación empresa líder.	73
Tabla 5.9.	Acciones a acometer, transformación LDI 4.0.	76
Tabla 5.10.	Indicadores LDI 4.0.....	78
6.	Proceso de diagnóstico.....	80
Tabla 6.1.	Análisis interno/externo.	82
Tabla 6.2.	Balance y formulación estratégica.	84

Tabla 6.3.	Cuantificación y priorización de oportunidades.....	86
Tabla 6.4.	Definición actuaciones del plan.	87
Tabla 6.5.	Seguimiento y evaluación indicadores (KPI's).....	88
7.	Conclusiones	89
8.	Planificación y Presupuesto	92
Tabla 8.1.	Resumen tareas TFM.....	93
Tabla 8.2.	Costes de equipos hardware.	96
Tabla 8.3.	Costes de software.....	96
Tabla 8.4.	Costes de personal.	97
Tabla 8.5.	Otros costes.	97
Tabla 8.6.	Coste total del TFM.....	98
9.	Referencias Bibliográficas	99
10.	Webgrafía.....	101
ANEXO I.	Metodologías de referencia Industria 4.0.....	104
	Dimensiones clave herramienta HADA.	105
	Niveles de madurez digital herramienta HADA.	107
	Dimensiones clave Impuls.....	108
	Niveles de madurez digital Impuls.	109
	Fases metodología BCG.	111
	Niveles digitalización BCG.....	112
	Metodología Industria 4.0 Accenture.	114
	Metodología hacia la Industria 4.0 PwC.	117
	Niveles de adaptación Industria 4.0 PwC.....	117
ANEXO II.	Herramienta de diagnóstico	118

Requisitos diagnóstico LDI 4.0.	123
ANEXO III. Descripción de Entregables	124
ANEXO IV. Ejemplo de informe de diagnóstico.....	126
Análisis palancas Estrategia de Negocio y Mercado.....	130
Análisis palancas Operaciones y Procesos.	132
Análisis palancas Productos y Servicios.	133
Análisis palancas Factor Humano.	134
Análisis palancas Comercialización y Relación Cliente.	135
Análisis fortalezas/debilidades Cosméticos MIES	137
Acciones Estrategia de negocio y Mercado.....	137
Acciones Operaciones y Procesos.....	138
Acciones Productos y Servicios.	138
Acciones Factor Humano.	139
Acciones Comercialización y Relación Cliente.	139



1. Introducción

En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología para la Industria 4.0, en la que se integran las bases metodológicas de *lean manufacturing* y las dinámicas de transformación digital para avanzar en la construcción de una estrategia de digitalización.

Su objetivo es aprovechar toda la potencialidad de las técnicas *lean* junto con las capacidades que aportan los diferentes habilitadores tecnológicos para alcanzar la excelencia operativa en una planta industrial. De este modo la metodología desarrollada genera una propuesta de valor diferenciadora con respecto a las metodologías tomadas como referencia.

El resultado del estudio es la creación de un **procedimiento de toma de datos, de diagnóstico y de elaboración de propuestas de acción de mejora**, realizando una validación del modelo.

Como punto de partida para la elaboración de esta metodología se ha realizado un estudio del estado del arte en cuanto a metodologías de diagnóstico para la Industria 4.0 por empresas líderes en el sector de la consultoría, junto con metodologías de *lean manufacturing*.

1.1.- Origen y materia

Actualmente los clientes quieren satisfacer sus necesidades con productos adaptados y personalizados a sus exigencias, esto implica un reto para el sector industrial que necesita mantener sus líneas de producción tradicionales y a la vez incorporar sistemas que acorten los tiempos de producción y aumenten la flexibilidad. El cambio en el comportamiento de los clientes es un potenciador del desarrollo de la cuarta revolución industrial, Industria 4.0, un nuevo concepto de producción en el que se utilizan las tecnologías habilitadoras digitales para impulsar la eficiencia en los procesos de producción. En el presente trabajo se ha elaborado un capítulo específico al desarrollo del concepto Industria 4.0, Figura 1.1.

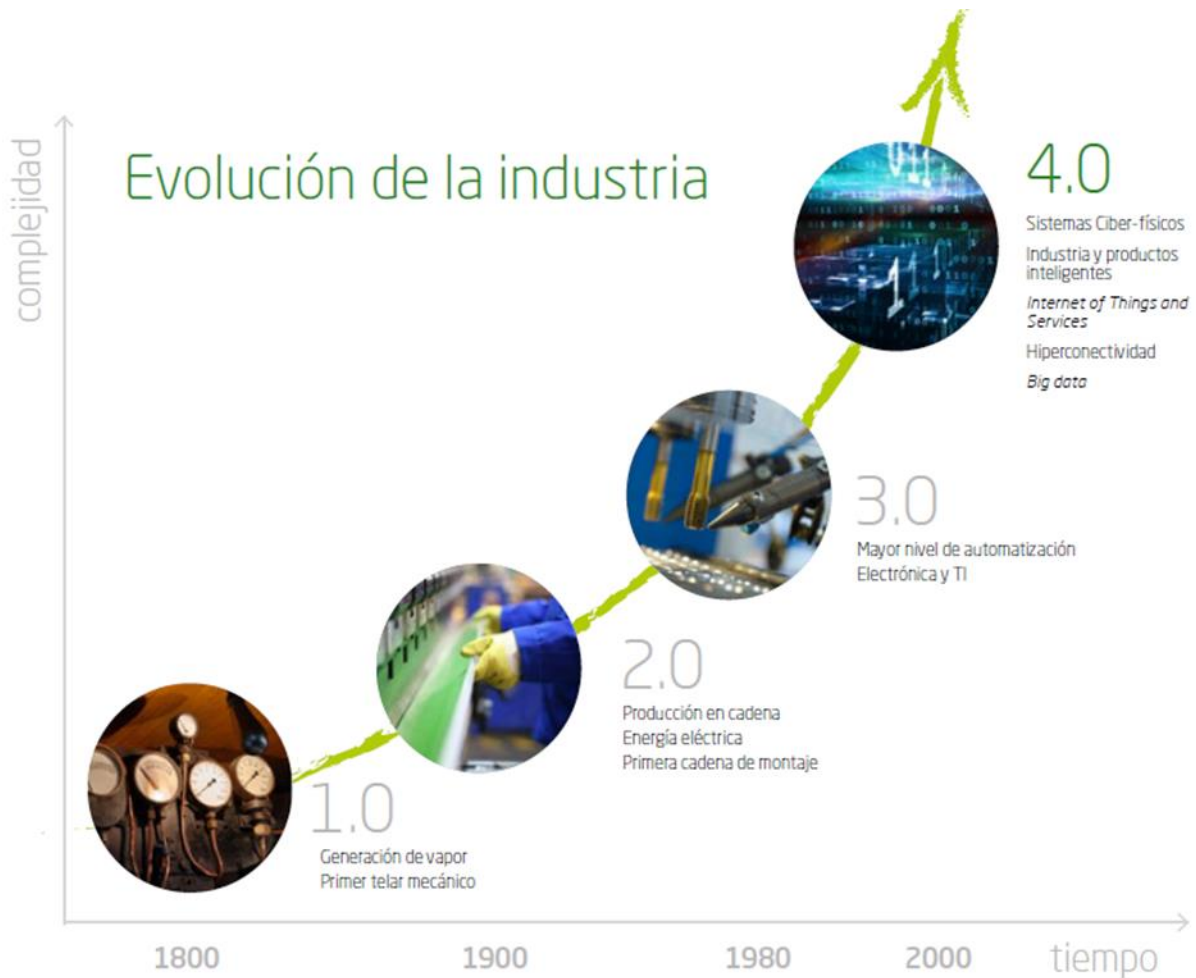


Figura 1.1. Evolución de la Industria (Fuente: Informe Industria Conectada 4.0¹).

Por otro lado, la metodología *lean manufacturing*, es un modelo de trabajo desarrollado desde finales del siglo XX, y cuyo principal objetivo es eliminar o reducir todas aquellas actividades adheridas a los procesos de producción que no añaden valor al producto que recibirá el cliente final.

¹Informe: La transformación digital de la industria española, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015, <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf> [Última visita: 14/02/2019]



1.2.- Objetivos

El objeto del presente trabajo es la:

- Realización de un **estudio de las metodologías de diagnóstico para la Industria 4.0** de empresas líderes en el sector de la consultoría estratégica a nivel internacional. En este análisis se hará hincapié en el estudio de las tecnologías habilitadoras del cambio, estas tecnologías tienen un carácter digital.
- Realización de un **estudio de los principios de gestión *lean* y metodologías de implantación de estos.**
- Dar una visión de la conexión entre los conceptos Industria 4.0 y *lean manufacturing*.
- Elaboración de una **metodología para la Industria 4.0, con un enfoque basado en los principios *lean manufacturing*. Desarrollando un procedimiento de toma de datos, diagnóstico y elaboración de propuestas estratégicas de mejora.**
- Validación del modelo metodológico aplicando la metodología de toma de datos y prescripción.

1.3.- Estructura TFM

Estructura del presente trabajo:

- Estudio de la transformación digital dentro del sector industrial. Análisis metodologías de diagnóstico.
- Estudio del concepto *lean manufacturing*. Análisis metodologías de implantación.
- Conexión conceptos Industria 4.0 y *lean manufacturing*. Introducción concepto ***lean digital industria 4.0***.
- Elaboración modelo metodológico ***lean digital industria 4.0***.
- Definición servicio ***lean digital industria 4.0***.



2. Transformación Digital

2.1.- Introducción

La industria se encuentra en la actualidad envuelta en un proceso de cambio tecnológico hacia la digitalización, con el objetivo de obtener procesos de producción cada vez más rentables (reduciendo el consumo de recursos), flexibles y competitivos, capaces de adaptarse mejor a las altas exigencias del mercado actual, Figura 2.1.

La integración de tecnologías digitales en los procesos productivos está siendo tan importante, que se define como la cuarta revolución industrial y se ha denominado Industria 4.0. La gran diferencia entre esta revolución industrial y las revoluciones que se habían producido con anterioridad es la rapidez con la que se producen los cambios en la actualidad.

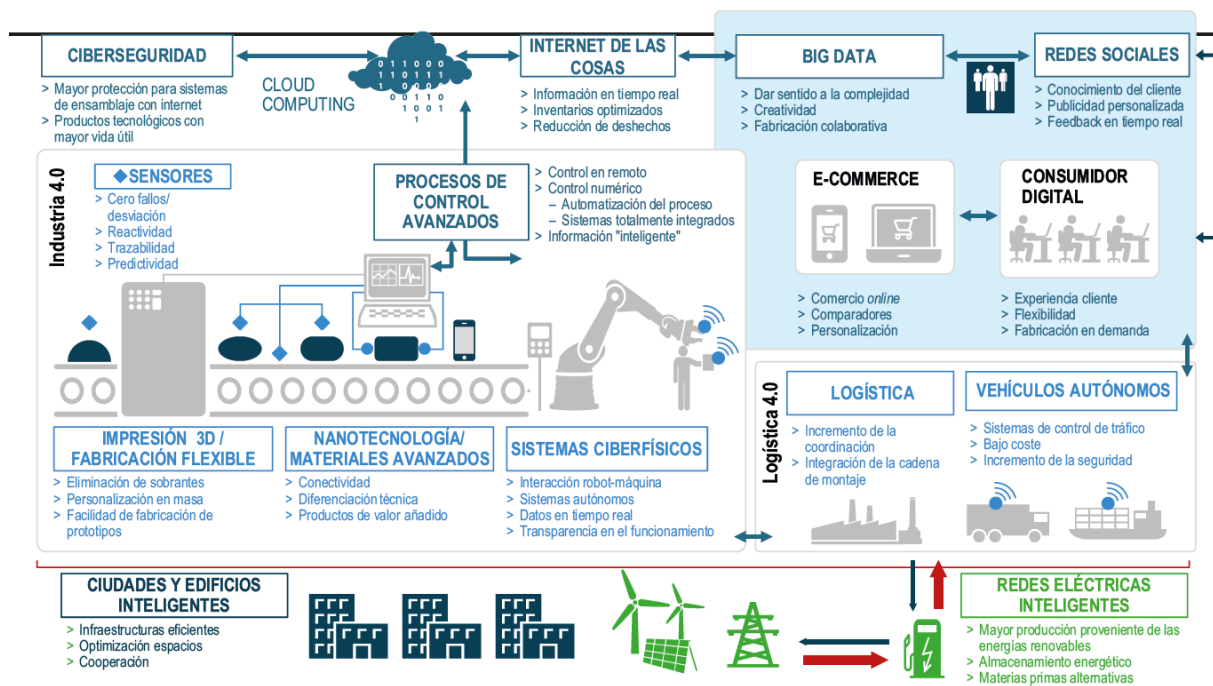


Figura 2.1. Ecosistema Industria 4.0 (Fuente: Roland Berger²).

²Informe: El reto de la transformación digital de la economía, Roland Berger y Siemens, 2016, https://w5.siemens.com/spain/web/es/estudiogigitalizacion/Documents/Estudio_Digitalizacion_Espana40_Siemens.pdf, [Última visita: 02/05/2019]



2.2.- Industria 4.0

Industria 4.0 es un término relativamente reciente y hace referencia a la implantación de tecnologías habilitadoras digitales (redes de banda ancha, *cloud computing*, internet de las cosas (IoT), sensores, realidad virtual, robotización, etc.) en el sector industrial³.

El objetivo que se persigue introduciendo tecnologías habilitadoras es permitir la colaboración entre dispositivos y sistemas y así poder modificar los procesos, productos y modelos de negocio de forma rápida y dar respuesta con celeridad a los cambios en el mercado. Pero la Industria 4.0 no solo se corresponde con la introducción de tecnologías en el sistema productivo o administrativo, esta revolución también promueve un cambio en la forma de dirigir las empresas, apostando por la innovación y concienciando acerca de la necesidad de compartir y aumentar el flujo de información en toda la organización. También promoviendo nuevas formas de trabajo, con la introducción de las metodologías ágiles.

La digitalización es un fenómeno global, por lo que estos cambios son a la vez una oportunidad y una obligación, ya que, en un mercado globalizado como el actual, la competitividad es un factor clave. Los países punteros de la unión europea han creado organismos para desarrollar y conducir a las empresas en estos cambios: Alemania (*Industrie 4.0*), Francia (*Industrie du Futur*), Suecia (*Produktion 2030*) o en España (Industria Conectada 4.0), Figura 2.2.

³Artículo: Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias, 2019, <https://www.asturiasindustria40.es/> [Última visita: 20/02/2019]

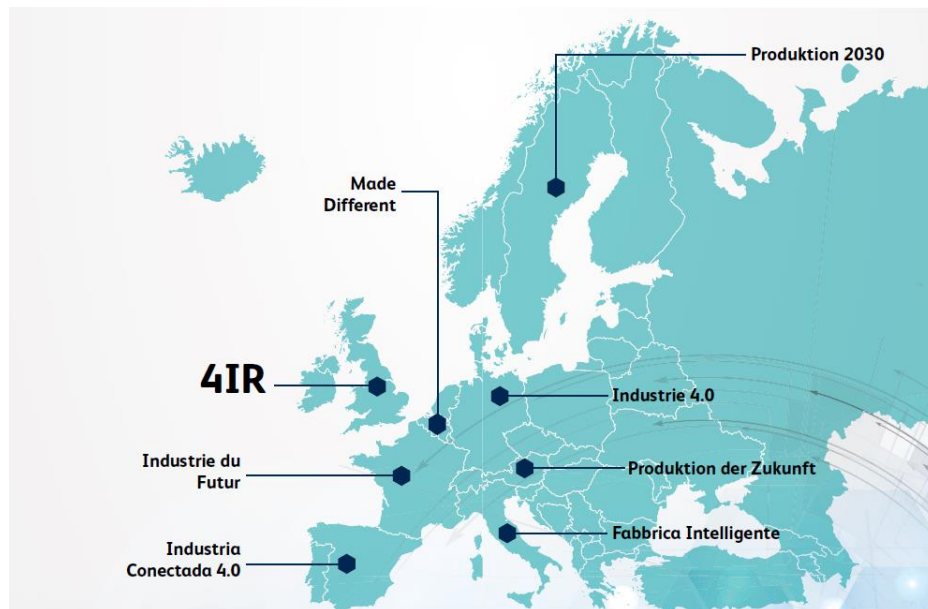


Figura 2.2. Denominaciones Industria 4.0 en Europa (Fuente: EEF/ORACLE⁴).

2.3.- Estado actual: empresas españolas

A la hora de evaluar el nivel de digitalización de las empresas de un determinado país, en la unión europea no existe un marco regulatorio que establezca un indicador por el cual se pueda evaluar el nivel de adopción de la Industria 4.0. Debido a esta falta de regulación, el indicador utilizado para diagnosticar el nivel de digitalización en la UE es el índice de la economía y la sociedad digital (DESI).

La comisión europea, de acuerdo al citado índice elaboro un ranking en el año 2018 de los países miembros de la UE, el cual se puede observar en la Figura 2.3. En él se ofrece la situación de los países en cinco aspectos:

1. Conectividad: banda ancha fija, banda ancha móvil y precios.
2. Capital humano: uso de internet, competencias digitales básicas y avanzadas.

⁴Informe: The fourth industrial revolution, EEF/ORACLE, 2016, <https://cloud.oracle.com/opc/saas/indmftg/reports/the-fourth-industrial-revolution-report.pdf> [Última visita: 20/02/2019]



3. Uso de servicios de internet: uso por parte de los ciudadanos de los contenidos, las comunicaciones y las transacciones en línea.
4. Integración de la tecnología digital: digitalización de las empresa y comercio electrónico.
5. Servicios públicos digitales: Administración electrónica y sanidad electrónica.

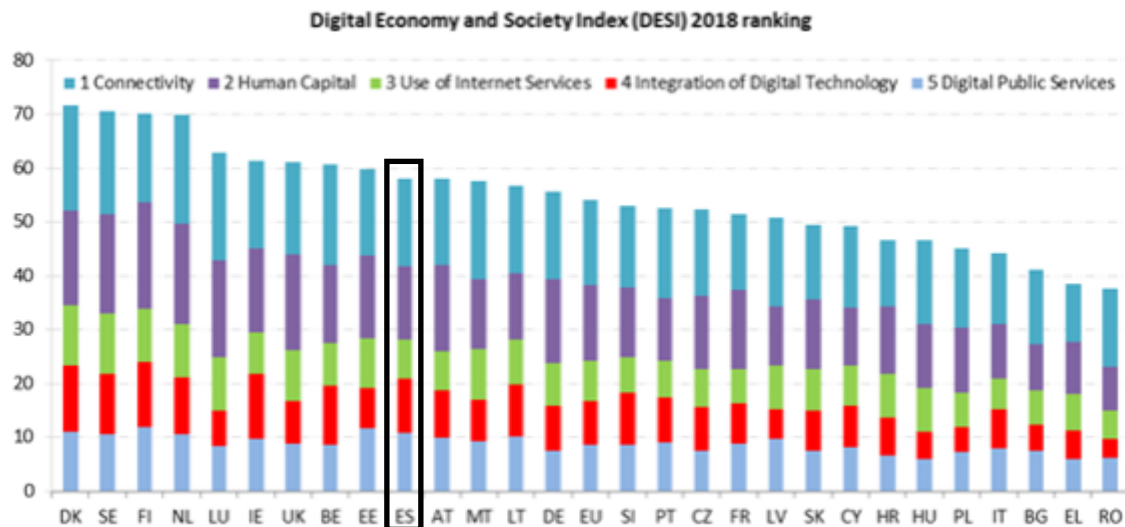


Figura 2.3. Clasificación países unión europea índice (Fuente: Comisión Europea⁵).

España se sitúa en décimo puesto de los 28 estados miembros de la UE. Profundizando en los resultados se puede observar que España está bien posicionada en conectividad, gracias a contar con gran cantidad de redes de banda ancha fija y móvil, tanto rápidas como ultrarrápidas. Un punto débil es el capital humano, pues una gran parte de la población carece de capacidades digitales y la oferta de personal especialista en TIC (tecnologías de la comunicación e información) sigue estando por debajo de la media de la UE.

En lo que respecta a la **integración de la tecnología digital en las empresas**, aspecto más importante en lo relativo a este trabajo, España ocupa el séptimo lugar, por encima de la media de la UE, Figura 2.4.

⁵Informe: Digital Single Market, Comisión Europea, 2018, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> [Última visita: 20/02/2019]



4 Integración de la tecnología digital	España		Grupo	UE
	puesto	puntuación	puntuación	puntuación
DESI 2018	7	49,8	42,1	40,1
DESI 2017	10	41,7	38,5	36,7

	España				UE
	DESI 2018		DESI 2017		DESI 2018
	valor	puesto	valor	puesto	valor
4a1 Intercambio electrónico de información	46%	↑	4	35%	34%
% de empresas	2017			2015	2017
4a2 RFID	7,8%	↑	2	6,5%	4,2%
% de empresas	2017			2014	2017
4a3 Medios sociales	28%	↑	7	24%	21%
% de empresas	2017			2016	2017
4a4 Facturas electrónicas	31,7%	↑	6	25,0%	NA
% de empresas	2017			2016	2017
4a5 Nube	17,8%	↑	11	13,0%	NA
% de empresas	2017			2016	2017
4b1 Pymes que realizan ventas en línea	19,6%	↑	9	18,7%	17,2%
% de pymes	2017			2016	2017
4b2 Volumen de negocios del comercio electrónico	10,1%	↑	13	9,4%	10,3%
% volumen de negocios de pymes	2017			2016	2017
4b3 Venta transfronteriza en línea	7,1%	↑	20	5,9%	8,4%
% de pymes	2017			2015	2017

Figura 2.4. Estadísticas integración de la tecnología digital empresas españolas (Fuente: Comisión Europea⁶).

Aun ubicándose por encima de la media de los países de la UE en este aspecto, el impulso hacia esta transformación debe ser mucho mayor con el objetivo de lograr un sector industrial sostenible.

En cambio, a nivel mundial el Foro Económico Mundial (WEF⁷) ha desarrollado un mecanismo con el fin de medir el nivel de digitalización de las empresas. Este sistema combina el diagnóstico de dos aspectos: la estructura productiva y la implantación de habilitadores. Con esta metodología ha publicado un informe en el que identifica los 25 países con un sector industrial más preparado para la digitalización industrial, en este informe España ocupa el

⁶Informe: Desi 2018 country, Comisión Europea, 2018, ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2018-20/es-desi_2018-country-profile-lang_4AA8143E-CA74-9BD7-2FBD36EBA0B95CCB_52357.pdf [Última visita: 22/02/2019]

⁷Informe: Readiness for the future, Foro económico mundial, 2018, <https://www.weforum.org/reports/readiness-for-the-future-of-production-report-2018> [Última visita: 22/02/2019]



puesto 24. En los primeros puestos se encuentran países como Estados Unidos, Alemania y Japón.

La conclusión que se obtiene a partir de los informes de la comisión europea y del foro económico mundial, es que se **debe impulsar e incentivar en mayor medida la implantación de habilitadores digitales en el sector industrial español**. Tanto los países de nuestro entorno europeo como otros países industrializados están impulsando medidas y adaptando sus empresas al nuevo entorno de trabajo. España está quedando retrasada en este ámbito y la estrategia para competir con otros países, en los que las políticas medioambientales o fiscales son menos estrictas y el coste de la mano de obra más reducido, debe estar centrada en mejorar los procesos productivos apostando por tecnologías digitales que aumenten la productividad y al mismo tiempo aporten al producto una calidad superior.

Por estos motivos cobra mayor importancia el estudio de los modelos metodológicos que impulsen la transformación digital en la industria española.






2.4.- Habilitadores Digitales

Las tecnologías habilitadoras son elementos que potencian la mejora productiva, impactando en aspectos como la reducción de tiempos, aumento de la productividad, etc. Pero no han de ser vistas como un elemento mágico que soluciona todos los problemas de una empresa al implantarlas, son solo herramientas.

Con las capacidades tecnológicas actuales gran parte de los procesos productivos industriales se pueden automatizar o cabe la posibilidad de instalar una nueva máquina que sea capaz de producir el doble de productos que la anterior. Pero esta supuesta mejora no repercutirá en los beneficios de la empresa, si la tarea que realizan estos equipos no tiene un valor para el cliente o si el producto tiene una tendencia de ventas más baja que la nueva capacidad productiva. Si esto sucede la inversión realizada será en vano y lo que se esperaba como una mejora puede acabar siendo un perjuicio, aumentando algunos costes como puede ser el de almacenamiento, que lleva consigo otros problemas como el riesgo de obsolescencia.



Aunque seguidamente se cita las herramientas más utilizadas en la actualidad en los planes de transformación digital de las empresas industriales, Tabla 2.1, y que se utilizan en el plan de transformación del presente trabajo. El elemento más relevante en un plan de transformación no son las herramientas implantadas, sino el uso que se da a estas. Este aspecto es uno de los valores de la metodología desarrollada en este trabajo ya que se centra en el estudio de la empresa identificando su cadena de valor y las áreas idóneas para implantar habilitadores tecnológicos.

Tecnología	Descripción
	<p>Robótica (colaborativa, avanzada, etc.) y automatización</p> <p>Estos equipos han sido desarrollos con el objetivo de sustituir o colaborar con los operarios en la línea de producción. Modificando el sistema productivo hacia la autonomía, flexibilidad y efectividad.</p>
	<p>Simulación y virtualización productiva</p> <p>La simulación permite nivelar la información en tiempo real y ser el espejo del mundo físico en modelos digitales, lo que incluye máquinas, productos y humanos. Esto permite a los operadores revisar y optimizar los reglajes de un nuevo producto y utilizar estos modelos con fines predictivos.</p>
	<p>Plataformas colaborativas</p> <p>Utilización de plataformas digitales de colaboración con el fin de mejorar diversos aspectos en el funcionamiento interno y externo como son: diseño, producción, logística, proveedores, clientes, etc.</p>
	<p>Internet de las Cosas (IoT)</p> <p>Esta tecnología es una de las bases del concepto Industria 4.0, habilitan la conectividad entre equipos de forma que estos se comuniquen y puedan trabajar de forma coordinada.</p>
	<p>Ciberseguridad</p> <p>Conjunto de técnicas y métodos que se utilizan para proteger los sistemas de tecnología de la información y comunicación (TIC).</p>







	Soluciones de mejora de la gestión productiva	Utilización de soluciones que permiten automatizar procesos de gestión: como pueden ser la planificación de tareas, asignación de recursos, acciones de mantenimiento, etc. Soluciones: MES, RPA, GMAO...
	Fabricación aditiva	Impresión 3D utilizada en el sector industrial en diferentes ámbitos: prototipado, productos, matrices, moldes, etc.
	Realidad Virtual y Aumentada	El siguiente paso en la conexión máquina/humano introduciéndolo en ambientes inversivas, hologramas
	Analítica y Big Data	Estas tecnologías habilitan el análisis masivo de información recogida en la planta industrial. Con el propósito de optimizar la calidad de la producción, el consumo de energía y la mejora del mantenimiento de los equipos.

Tabla 2.1. Tecnologías habilitadoras generales utilizados en el modelo (Fuente: Elaboración propia).

Existen diversas formas de catalogar y agrupar las tecnologías habilitadoras, en este trabajo se ha estudiado la estrategia española, **Industria Conectada 4.0**¹, ya que es la referencia a nivel nacional. Esta agrupa las tecnologías habilitadoras en tres grandes categorías, estando interrelacionadas entre ellas:

1. **Hibridación mundo físico y digital:** estas tecnologías comunican el mundo físico y el digital a través de sistemas de captación de información o permiten acceder a la información almacenada digitalmente desde en el mundo físico.
2. **Comunicaciones y tratamiento de datos:** sirven para canalizar y procesar la información.
3. **Aplicación de gestión:** procesan los datos recibidos y generan decisiones (Inteligencia Artificial).

A continuación, se desarrollará cada una de las categorías y se definirán las tecnologías incluidas en cada grupo.



2.4.1.- Hibridación mundo físico y digital

La conexión entre el mundo físico y el digital se puede producir de diversas formas:

- Mediante la captación de información de los sistemas físicos y traslado de esta al medio digital, para facilitar el análisis. Los dispositivos desarrollados para ello son los **sensores**, cuya implantación se ha visto altamente incrementada en los últimos años gracias en parte a la reducción de su coste. Un ejemplo de su aplicación en un producto con el que podemos estar familiarizados son las *smartbands* o *smartwatches* que disponen de funcionalidades como la monitorización de la actividad cardiaca de las personas que los portan.
- Comunicación en sentido inverso, desde un sistema digital hacia el mundo físico. Los dispositivos de **impresión 3D**, conectan los diseños realizados a través de herramientas digitales con la conversión de estos en elementos físicos por medio de un proceso de fabricación aditivo. Estas máquinas han modificado las fases de realización de diseños, facilitando en gran medida la obtención de prototipos.
- Por último, existen tecnologías capaces de transmitir en ambos sentidos, desde un sistema físico a uno digital y desde uno digital a otro físico. La **robótica avanzada** puede realizar estas funciones, introduciéndose en los procesos productivos para realizar tareas repetitivas que tradicionalmente eran realizadas por personas. Esta tecnología ha seguido evolucionando e incorporando nuevas funciones, tales como la comunicación con otras máquinas o la introducción de la inteligencia artificial que permite a estas máquinas tomar decisiones de forma autónoma.

2.4.2.- Comunicaciones y tratamiento de datos, conectividad

Las tecnologías habilitadoras encuadradas en esta categoría recogen o suministran información a los dispositivos en contacto con el sistema físico y garantizan la seguridad de la información recibida. Una vez realizadas estas tareas, transportan la información al siguiente nivel en el que se fijan las acciones de respuesta.



La conectividad es una de las claves de la transformación digital en el sector industrial, permitiendo la monitorización y control en tiempo real, facilitando así el aumento de la eficiencia, calidad y seguridad de los procesos.

2.4.3.- Aplicaciones de gestión

En este nivel las tecnologías procesan la información y aplican algoritmos de inteligencia artificial con el fin de sacar todo el provecho posible a esta información. Principalmente se aplican en tres aspectos:

- **Soluciones de negocio**, que abarcan diferentes aspectos dentro del nivel organizativo de una empresa como son: la gestión de la cadena de suministro, estrategias comerciales, facilitar la toma de decisiones financieras o la gestión de recursos humanos.
- Inteligencia y control, aplicadas en procesos productivos con el objetivo de dar respuesta a los acontecimientos de forma autónoma.
- **Plataformas colaborativas** que conectan diferentes partes interesadas: empresas con otras empresas (B2B - Business to Business-); empresas con clientes (B2C -Business to Consumers-), clientes con clientes (C2C - Consumers to Consumers-), etc. Cada vez está ganando mayor importancia en la industria el servicio ofrecido al cliente, en algunos modelos de negocio llega a ser igual de importante, para las empresas proveedoras, la venta del producto como el servicio postventa. Relacionado a este aspecto esta la introducción de dispositivos digitales en los productos, capaces de enviar información acerca de sus parámetros de funcionamiento. Esta información tiene un gran valor ya que permite optimizar las siguientes funciones:
 - Análisis de las condiciones de operación (optimización parámetros de operación).
 - Mejora del diseño del producto en función de resultados.
 - Capacidad de realizar un mantenimiento predictivo (menor tasa de paradas imprevistas).
 - Mejora de la gestión de la capacidad productiva (adaptada a la demanda).



- Menores necesidades de mantenimiento de stocks.
- Entrega de producto optimizada.

La funcionalidad de estas tecnologías se asocia principalmente a tres dimensiones de las empresas del sector industrial:

- **Procesos productivos:** representa la incorporación de dispositivos digitales a los procesos de producción. La introducción de las tecnologías habilitadoras puede provocar dos tipos de transformaciones, modificar los instrumentos existentes o sustituir máquinas tradicionales por nuevos mecanismos. El objetivo principal es incrementar la eficiencia y la flexibilidad. Dos ejemplos de tecnologías habilitadoras con aplicación en el entorno productivo son la impresión 3D y la robótica avanzada.
- **Productos:** la aplicación de tecnología en los productos industriales puede impactar también de dos formas, bien mejorando las características de los productos existentes o bien facilitando la creación de nuevos productos. Dentro del sector industrial, las empresas automovilísticas están siendo las grandes impulsoras del cambio en sus productos. Los dispositivos incorporados mejoran la seguridad tanto activa como pasiva de los vehículos o añaden nuevas funcionalidades de entretenimiento.
- **Modelos de negocio:** las tecnologías digitales también están permitiendo explorar nuevas vías de negocio, ya que aumentan y modifican las formas de situar en el mercado los productos o servicios. Por ejemplo, un nuevo modelo de negocio creado a partir de la implantación de tecnologías habilitadoras es el alquiler de vehículos, un servicio en auge en las grandes ciudades y que se aplica en todo tipo de transportes: coches *car-sharing* (coche compartido), bicicletas, patinetes eléctricos, etc.



Una misma tecnología puede afectar a más de un nivel, de los anteriormente citados, Figura 2.5. Dispositivos como los sensores, causan impacto en todos los niveles: su implantación puede optimizar procesos, permite crear nuevos productos y también introducir nuevos modelos de negocio, consiguiendo una cadena de suministro conectada.



Figura 2.5. Cadena de suministro conectada (Fuente: Elaboración propia a partir de CGI⁸).

2.5.- Retos Industria 4.0

Una vez introducido el tema de la digitalización, en la Tabla 2.2 se definen los principales retos del sector industrial y como las soluciones digitales dan respuesta a estas amenazas.

⁸Informe: Industry 4.0: Making your business more competitive, CGI, 2017, <https://www.cgi.com/en/media/white-paper/Industry-4-making-your-business-more-competitive> [Última visita: 01/03/2019]



Dimensión	Reto	Industria 4.0
Procesos productivos	Flexibilidad y eficiencia en los medios productivo.	Fabricación colaborativa. Descentralización toma de decisiones
	Reducción tamaño lotes.	Automatización. Reducción tiempos de preparación.
	Tiempo de respuesta bajos.	Automatización. Comunicación pieza/máquina.
	Anticipación demanda.	Analítica avanzada. Sistemas de recopilación de datos cliente.
Productos	Personalización del producto.	Aumento de funcionalidades, implantación dispositivos digitales.
Modelos de negocio	Potenciación de la innovación.	Innovación colaborativa entre empresas. Creación de investigación multidisciplinar.
	Transformación canales.	Canales digitales. Disponibilidad 24/7.
	Hiperconectividad del. cliente	Recopilación de datos del cliente.
	Especialización/Competencia	Sistemas de gestión entre diferentes empresad.
	Sostenibilidad a largo plazo.	Optimización uso de recursos y aumento de la eficiencia.

Tabla 2.2. Retos sector Industrial (Fuente: Elaboración propia).



2.6.- Análisis metodologías de referencia Industria 4.0

Los modelos de referencia para encaminar el sector industrial hacia la Industria 4.0, pueden dividirse en dos categorías:

- Aquellos desarrollados por organismos públicos. Encuadrados en esta categoría se han estudiado las metodologías elaboradas por el gobierno de España y la fundación Impuls de la federación alemana de ingeniería (VDMA).
- Metodologías desarrolladas por compañías de consultoría. Dentro de ellas se han analizado aquellas elaboradas por las entidades de consultoría líderes. Cobrando así el estudio mayor fuerza, ya que, las compañías investigadas son líderes en su sector y con implantación internacional.

Con el fin de focalizar la búsqueda en empresas líderes en el sector de las consultorías estratégicas, se ha recurrido a el ranking de las más prestigiosas firmas de consultoría en 2019 realizado por el sitio web *Vault.com*⁹. En la elaboración del ranking Vault realizó encuestas a consultores en las que debían calificar a aquellos competidores con los que estuvieran familiarizados¹⁰.

El análisis de cada una de las herramientas estudiadas se encuentra en el [ANEXO I](#), este estudio está focalizado en el enfoque que aporta cada uno de los modelos para realizar el servicio y los diferentes niveles de empresa que identifican en función de su nivel de madurez digital.

⁹Artículo: Most Prestigious Consulting Firms, Vault, 2019, <http://www.vault.com/company-rankings/consulting/best-consulting-firms-prestige?pg=5> [Última visita: 25/03/2019]

¹⁰Artículo: The Most Prestigious Consulting Firms, Forbes, 2011, <https://www.forbes.com/sites/susanadams/2011/08/25/the-most-prestigious-consulting-firms/#76343c2d2896> [Última visita: 25/03/2019]



2.6.1.- Dimensiones clave

A partir de los modelos de diagnóstico estudiados se ha elaborado la Tabla 2.3, en la que se compara las dimensiones clave que incluye cada uno de ellos. El objetivo es extraer las áreas de estudio más importantes a la hora de estudiar el nivel de digitalización de una empresa.

Industria Conectada (HADA)	Impuls	Boston Consulting Group (BCG)	Accenture	Price Waterhouse (PwC)
Estrategia de mercado y negocio	Estrategia y organización	Estrategia digital impulsada por lo digital		
Infraestructuras	Fábrica inteligente	Digitalización del núcleo	Análisis del proceso productivo	Arquitectura TI
Procesos	Operaciones inteligentes		Visualización línea de producción	Cadena de valor y procesos
Productos y servicios	Productos inteligentes			
Productos y servicios	Servicios basados en datos	Crecimiento digital		Modelos de negocio, portfolio de productos y servicios
Organización y personas	Empleados	Habilitadores		Organización y cultura
				Acceso al mercado y cliente
			Control de las actividades en planta	Cumplimiento, legalidad, riesgos, seguridad e impuestos

Tabla 2.3. Comparativa dimensiones clave (Fuente: Elaboración propia).



Se observa que existen dimensiones comunes a todos o la mayor parte de los modelos como son: **Estrategia, Infraestructura, Procesos, Productos y Servicios**. Estos factores han sido incorporados a la metodología objeto de este trabajo, ya que son consideradas las áreas más importantes a la hora de valorar el estado de una empresa desde el punto de vista de la Industria 4.0.

2.6.2.- Puntos diferenciales

Las empresas que ofertan servicios de digitalización no siguen un patrón común para realizar este servicio, existen aspectos que las diferencian. En la Tabla 2.4, se han recogido los diferentes puntos de vista de cada uno de los modelos estudiados, aquellos puntos en los que hacen hincapié.

Industria Conectada (HADA)	Necesidad de concienciación sobre el cambio.
	Importancia de las partes implicadas y las plataformas colaborativas.
	Punto estratégico en la transformación, el incremento del valor añadido de los productos.
Impuls	Importancia de la estrategia y cultura corporativa para el lanzamiento de un proyecto Industria 4.0.
	Equipamiento de los productos con tecnologías TIC, apertura a nuevos negocios.
	El éxito de la implantación requiere de personal cualificado.
Boston Consulting Group (BCG)	Centrarse en el cliente (<i>customer centricity</i>), entender que el cliente ha ganado poder y la Industria 4.0 permite satisfacer sus exigencias.
	Mejora continua, los habilitadores tecnológicos facilitan la mejora continua en los procesos de producción a través del análisis de la información recogida.



	Relación dirigente/personal, la influencia de los dirigentes en la Industria 4.0 es muy grande actuando como consejeros, no dirigentes autoritarios.
Accenture	<p><i>Lean manufacturing</i> catalizador de la implantación Industria 4.0, evitando automatizar sistemas ineficientes.</p> <p>Aplicabilidad de los habilitadores tecnológicos en las diferentes dimensiones de las empresas industriales.</p> <p>División del impacto de las soluciones en función de los parámetros: coste, tiempo, calidad.</p>
Price Waterhouse (PwC)	<p>Cliente tira (<i>customer pull</i>), cambio en la relación productor/cliente, ha ganado poder y marca en gran medida la forma de actuación del productor.</p> <p>Implantación de proyectos piloto como inicio de la transformación.</p> <p>Análisis del resultado de los pilotos, para conocer las soluciones más adaptables a la empresa.</p>

Tabla 2.4. Puntos diferenciales metodologías analizadas (Fuente: Elaboración propia).

2.6.3.- Conclusiones

Después de haber analizado diferentes formas de encaminar el proceso de digitalización, [ANEXO I](#), se llega a la conclusión de que en el camino hacia la Industria 4.0 existen algunos aspectos que han de ser potenciados en la estructura de una empresa, tanto a nivel estratégico como operativo.

A **nivel estratégico** se pone en valor la necesidad de que las empresas sean conscientes de la importancia de realizar esta transformación. Sin una cultura detrás fuerte la empresa no llegará a conseguir un cambio efectivo. Para ello es importante todo el personal, desde los dirigentes, como precursores del cambio, como el resto de la plantilla con una cualificación tecnológica adecuada.

En cuanto al **nivel operativo** se pueden extraer dos conclusiones. Por un lado, el cliente ha ido ganando peso paulatinamente, por lo que atender de la forma más rápida y eficiente



posible es primordial para la sostenibilidad de una empresa industrial. Esto solo se puede alcanzar con soluciones Industria 4.0. Al mismo tiempo los productos comercializados también deben ser incorporados al cambio, con nuevas funcionalidades que puedan abrir nuevos modelos de negocio.



3. Lean manufacturing

Descrito con anterioridad como pilar fundamental para la confección de este modelo metodológico, en este capítulo se desarrollan los principios y técnicas de gestión *lean manufacturing* desde el punto de vista de su implantación en la industria.

3.1.- Definición

El *lean manufacturing* es un modelo de gestión focalizado en las personas, el cual tiene como **objetivo principal mejorar y optimizar los sistemas de producción centrándose en identificar y eliminar todo tipo de ineficiencias**. Se entiende por ineficiencia todas aquellas actividades o procesos que utilizan más recursos de los estrictamente necesarios. Para lograr estos objetivos, promueve la utilización de diferentes técnicas que cubren todas las áreas de la producción, como son: gestión de los puestos de trabajo, tránsitos en la planta, calidad, mantenimiento o gestión de la cadena de suministro.

Esta filosofía de trabajo está basada en el sistema de producción de Toyota, fabricante japonés de automóviles. Las primeras publicaciones que explicaron su funcionamiento se produjeron en 1988, en los estudios de Krafcik (1988) y Ohno (1988), los cuales tuvieron gran repercusión.

- John Krafcik, ingeniero y miembro del equipo de investigadores del MIT International Motor Vehicle Program (IMVP), fue el primero en utilizar la expresión *lean manufacturing* para referirse a los nuevos métodos y técnicas de producción de las empresas automovilísticas japonesas.
- Taiichi Ohno, fue un ingeniero mecánico, trabajador de la empresa Toyota y uno de los impulsores del sistema de producción de Toyota (Toyota Production System, TPS).

Para conseguir operar al mínimo coste y con un porcentaje de fallos bajo, la metodología *lean* actúa sobre todos los factores del proceso productivo que no aumentan el valor del producto final (tal y como lo percibe el cliente) y sobre aquellos aspectos que no se adaptan a las



exigencias del cliente, para conseguir mejoras en la calidad, plazos, costes y tiempos, Fuentes et al, (2012). Las empresas que adoptan este sistema de gestión se adentran en un modelo con una filosofía de mejora continua, que ofrece la posibilidad de mejorar los resultados y que implica a todos los niveles de la organización, Womack et al, (1997).

3.2.- Principios lean manufacturing

Ohno, principal desarrollador del Sistema de Producción de Toyota (TPS) del que parte la metodología *lean manufacturing*, basó su sistema productivo en dos pilares: la producción *Just in Time* (producción en la cantidad, tiempo y lugar requerido por el cliente) y la búsqueda de la perfección, Ohno (1988). Uno de los sistemas desarrollados para mejorar la calidad de los productos es la automatización de los procesos manuales y la introducción de inspecciones de calidad. Las inspecciones tienen la misión de detectar posibles fallos o defectos de los productos para que, una vez detectados, sean extraídos de la cadena y estos productos defectuosos no sigan consumiendo recursos. Por tanto, el sistema TPS, está ideado para que la intervención humana se produzca únicamente cuando es detectado un fallo, Sanders et al, (2016). Esto ofrece una primera idea de cuál puede ser la conexión entre las tecnologías digitales habilitadoras de la Industria 4.0 y los conceptos del *lean manufacturing*.

A partir de la revisión de diferentes estudios: Shah et al, (2007), Liker (2005) y el informe de la Escuela de Organización Industrial¹¹. Se han extraído las diferentes técnicas y factores en los que se fundamenta la metodología *lean*:

- 1. Compromiso alta dirección:** Los conceptos que inculca esta metodología son sencillos de comprender, sin embargo, para una implantación efectiva de estos se requiere de un alto compromiso por parte de los líderes siendo ellos los promotores del cambio. Sin este los cambios no perdurarán en el tiempo.

¹¹Informe: Fundamentos del Lean Manufacturing, Escuela de Organización Industrial, 2013, <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20730/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion> [Última visita: 06/02/2019]



2. **Retroalimentación:** Las opiniones de los clientes y el desempeño de los productos o servicios han de ser comunicados aguas arriba de la cadena de suministro (desde el cliente final hacia el punto inicial de fabricación). Así se podrá dar un uso efectivo a esta información.
3. **Just in Time (JIT):** La producción se realizará en la cantidad requerida por el cliente, entregándose exactamente en el tiempo y lugar especificado. Al mismo tiempo se llegará a acuerdos con proveedores para que las materias primas necesarias para la producción se suministren en estas condiciones. El objetivo es reducir el almacenamiento al mínimo
4. **Desarrollo de los proveedores:** Las estrategias de productores y proveedores de una misma cadena de suministro deben estar alineadas, con el fin de evitar inconsistencias o discordancias.
5. **Involucrar a los clientes:** Los clientes son los principales conductores del negocio, por ello se ha de tener en consideración las necesidades y requerimientos de estos en el diseño y desarrollo de los productos.
6. **Producción Pull:** El inicio de la producción es la llegada de pedidos y estos son los que establecen el flujo de producción (producción JIT).
7. **Flujo continuo:** Flujo de productos optimizado dentro de la planta para cada producto evitando grandes tránsitos de producto.
8. **Reducción del tiempo de parada:** El tiempo requerido para adaptar la maquinaria a diferentes productos debe ser reducido al mínimo (cambios de herramientas).
9. **Mantenimiento preventivo:** El fallo de la maquinaria debe ser eliminado con un mantenimiento periódico y efectivo. En caso de fallo, el tiempo de parada debe ser el menor posible.
10. **Control estadístico del proceso:** La calidad de los productos es un factor fundamental, con el fin conseguir una calidad satisfactoria se debe inculcar una cultura de defectos cero y evitar que los fallos se propaguen por la línea productiva.



11. Involucración de los empleados: Los empleados deben poder asumir los retos de la empresa, apoyándose en una buena motivación y formación. Ellos son los actores principales de la cadena de producción por lo que es de vital importancia su alineación con la estrategia empresarial.

El estudio de Womack et al, (1990), presenta las ideas del modelo como se observa en la Figura 3.1.

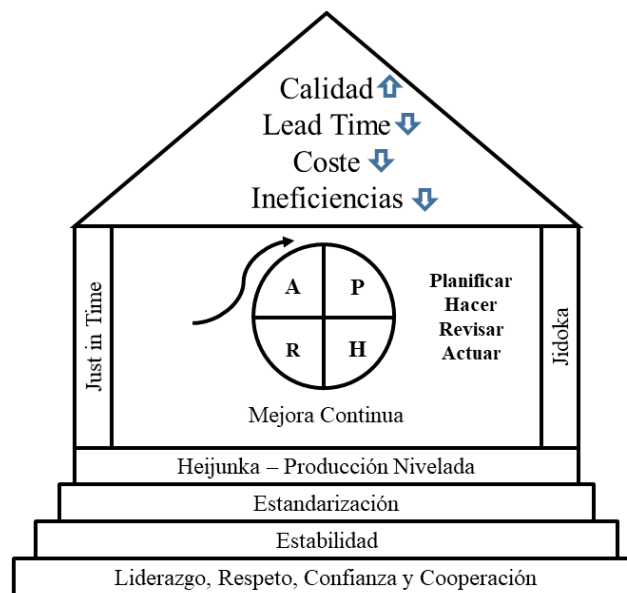


Figura 3.1. La casa del *lean manufacturing* (Fuente: Elaboración propia a partir de Womack et al, (1990)).

Los principios vistos anteriormente se pueden agrupar en cuatro grupos, Figura 3.2, en función de los agentes a los que involucran:

- **Proveedores:** integración de los proveedores en la optimización del negocio. Debe existir una colaboración para que se posibilite el flujo de información, las políticas JIT, y el progreso de los proveedores.
- **Clientes:** este factor se centra en buscar las necesidades del mercado para fijar la dirección de la empresa.



- Procesos: centrado en las operaciones, secuenciación, búsqueda del flujo continuo y la reducción de tiempos.
- Factores humanos y control: sistemas de control y operarios.

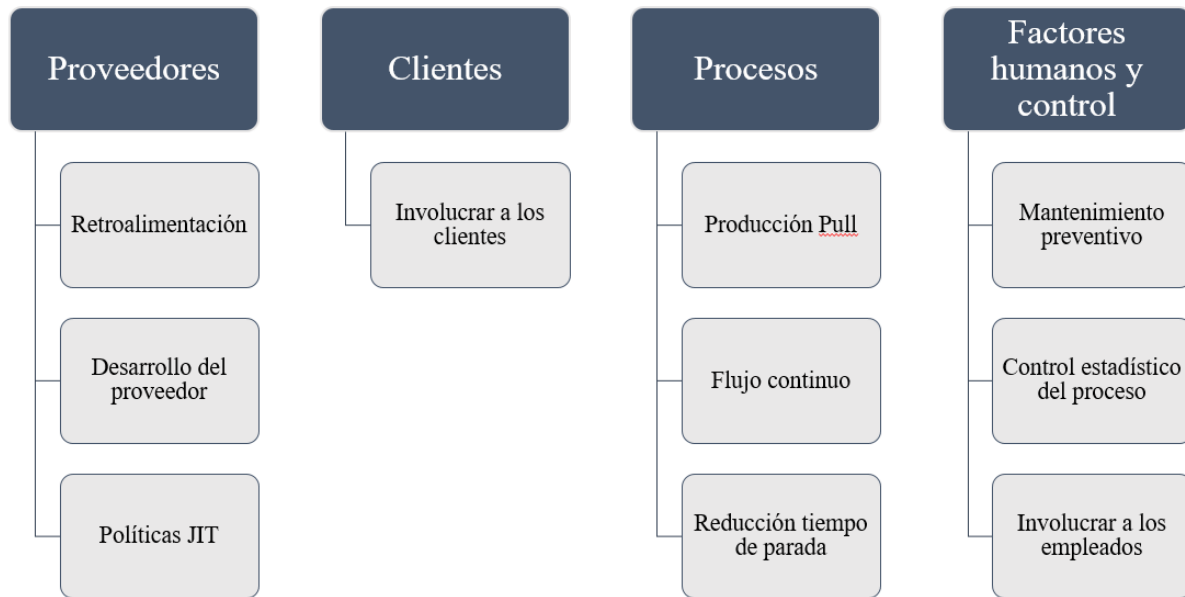


Figura 3.2. Dimensiones *lean manufacturing* (Fuente: Elaboración propia a partir de Shah et al, (2007)).

Como conclusión se puede describir el *lean manufacturing* como un modelo organizativo y de gestión del sistema de fabricación (personas, materiales, máquinas y métodos) que persigue mejorar la calidad, el servicio y la eficiencia mediante la eliminación constante del despilfarro, Madariaga (2013).

3.3.- Objetivos lean manufacturing

El sistema de producción de Toyota, Ohno (1988), identifica siete tipos de ineficiencias en la cadena de producción o en su forma de gestionarlas. En la metodología *lean*, actualmente se reconocen ocho ineficiencias, Liker (2005), Figura 3.3, añadiéndose el despilfarro de conocimiento.

La eliminación o reducción de estas ineficiencias es el objetivo marcado en la implantación del *lean manufacturing*:



-
1. **Sobreproducción:** producción mayor de la que actualmente necesitan los procesos posteriores o demanda el cliente final.
 2. **Exceso de inventario:** todo inventario que supere el necesario para abastecer la demanda del cliente (materias primas, producto en curso o producto terminado).
 3. **Movimientos innecesarios de materiales:** malas planificaciones que generan transportes de productos innecesarios por la planta.
 4. **Espera del operario:** tiempos de espera por los trabajadores en los que no realizan una actividad productiva.
 5. **Movimientos del operario que no añaden valor:** desplazamientos de los trabajadores que no modifican la forma o las propiedades del producto.
 6. **Defectos:** suponen despilfarros tanto en materias primas como en esfuerzos humanos.
 7. **Sobre-procesamiento o procesos incorrectos:** añaden propiedades al producto que el cliente no valora. Un mal diseño de los productos o procesos puede llevar a esta problemática.
 8. **Despilfarro del conocimiento:** uno de los defectos más comunes y a la vez más importantes. Se produce cuando no se facilita a los empleados la posibilidad de aportar sus capacidades y experiencia para resolver problemas o a la hora de mejorar procesos.



Figura 3.3. Ineficiencias *lean manufacturing* (Fuente: Elaboración propia a partir de LeanManufacturingHoy¹²).

3.4.- Análisis metodologías implantación lean manufacturing

Las metodologías de implantación de las técnicas *lean manufacturing* han sido estudiadas en diversos trabajos de investigación. El presente apartado centrará el análisis en tres métodos.

Primero el **estudio de Womack et al, (1997)**, en el mismo se detalla una metodología de implantación, fijándose las fases de esta y la política a seguir para aplicarla con éxito. Se basa en la adopción de las técnicas parcialmente y el desarrollo de estas dentro de la empresa. Esta metodología no solo busca un cambio en la forma de operar de una planta industrial, si no que

¹²Artículo: Lean Manufacturing. Los 8 grandes despilfarros (mudas) de tu empresa, LeanManufacturingHoy, 2017, <https://www.leanmanufacturinghoy.com/lean-manufacturing-los-8-grandes-despilfarros-mudas-de-tu-empresa/> [Última visita: 08/03/2019]



intenta alcanzar una transformación completa de la empresa. Además, la implantación se realiza por medio de un equipo externo a la empresa, los pasos del método se resumen en:

1. Empezar el proyecto, identificando y analizando la cadena de valor del proceso productivo.
2. Buscar un líder para el cambio, formar a esta/s persona/s en la utilización de técnicas *lean manufacturing*.
 - i. Encontrar un factor que impulse el cambio, este debe ser una actividad importante en el funcionamiento de la empresa y visible para todos los miembros de la plantilla.
 - ii. Aplicar tan rápido como sea posible una técnica que mejore sustancialmente el desempeño de esta actividad.
 - iii. Exigir resultados inmediatos.
3. Ampliar el campo de acción de las técnicas, con el objetivo de crear una nueva organización.
4. Poner en práctica sistemas de explotación.
5. La última fase es la conclusión de la transformación.

La segunda metodología analizada es la desarrollada por la **Escuela de Organización Industrial**¹³. Este procedimiento pone de manifiesto la necesidad de amoldar la hoja de ruta a la realidad particular de cada empresa y aconseja la introducción de las técnicas de forma secuencial.

1. **Diagnóstico y formación**, se divide en los siguientes hitos:
 - iv. Formación, poner en conocimiento de las personas impulsoras del cambio, dentro de la empresa, los conceptos lean. Poniendo en relieve el análisis de las operaciones y la puesta en valor del factor humano dentro del sistema.
 - v. Recogida y análisis de datos, información acerca de los productos y los procesos. El objetivo es organizar y priorizar productos, para definir el modelo y ritmo de producción más adecuado en cada caso.



- vi. Trazado de la cadena de valor actual, representación de la situación actual: flujos de producto, materiales e información.
 - vii. Trazado de la cadena de valor futuro, a partir del análisis realizado se plantean las posibles soluciones y se diseña un nuevo flujo de producto, materiales e información.
2. **Planificación implantación *lean***, dividido en los siguientes hitos:
- i. Planificación detallada, estableciendo objetivos concretos, tareas, duraciones y recursos para llevarlo a cabo.
 - ii. Indicadores de seguimiento.
 - iii. Organización grupos de trabajo.
 - iv. Diseño de un plan de integración o implantación sistemas ERP/MES/GMAO.
 - v. Selección área piloto, zona limitada para iniciar la implantación de técnicas *lean*.
3. **Lanzamiento**, el éxito de la primera implantación será fundamental a la hora de extender el modelo al resto de la empresa.
- i. Soluciones que generen cambios impactantes, rápidos y motivadores.
4. Estabilización mejoras, a continuación, se van estableciendo proyectos de mejora en el resto de las unidades operativas que involucren a nuevos equipos *lean* suficientemente formados y motivados en la detección de despilfarros y propuestas de mejora.
5. Estandarización, a partir de los éxitos iniciales, se diseña un procedimiento de auditoría permanente que garantice el mantenimiento y la mejora continua del propio sistema.
6. Una vez establecidas las bases, se pueden plantear proyectos más ambiciosos como la fabricación en flujo continuo.

Por último, se ha analizado la propuesta de **Fortuny-Santos** et al, (2008) grupo de investigación del departamento de organización de empresas de la Universidad Politécnica de Cataluña. Esta metodología está centrada en modificar la forma de trabajar en el área operativa de una empresa industrial. Para ello considera esencial que sea la propia plantilla la que



introduzca estas técnicas en su puesto de trabajo, prevé la formación del personal por medio de seminarios impartidos por expertos en técnicas *lean*. Esta metodología se divide en siete fases:

1. Recogida de datos, análisis de los procesos y productos con los que trabaja la empresa.
2. Formación acerca de *lean manufacturing*.
3. Análisis de las operaciones y su flujo, reflexión acerca del valor que aportan las operaciones realizadas al producto final.
4. Trazado del flujo de valor de la empresa, visualización de información a través de flujos de producto, materiales e información.
5. Fase central de estudio y diseño, se divide en los siguientes hitos:
 - ii. Definición y diseño de la distribución en planta, determinando la ubicación de máquinas, puestos de trabajo y el flujo de materiales y personas.
 - iii. Asignación de tareas.
 - iv. Ajuste de la capacidad productiva a la demanda.
6. Trazado del flujo de valor futuro de la empresa, proceso de mejora continua en el que se fija el objetivo a alcanzar una vez se han identificado ineficiencias y oportunidades de mejora.
7. Fase de implantación final.

Fuera de las metodologías de implantación *lean manufacturing*, se han desarrollado otros estudios con el fin de adoptar los principios *lean* en empresas de todos los sectores.

Una de las metodologías más reconocidas en este sentido es *lean kata*, metodología desarrollada por Rother (2009), en ella se hace referencia a las dificultades de implantar las herramientas *lean* fuera de la industria japonesa.

Con el fin de superar o disminuir estas dificultades, *lean kata* propone inculcar rutinas en los trabajadores. Estas rutinas se entienden como hábitos de mejora que se deben mantener de forma continua en el tiempo (mejora continua “*Kaizen*”).



Las rutinas deben preparar a los trabajadores para resolver autónomamente los problemas a los que se enfrenten y poder llegar a los objetivos marcados, constan de cuatro fases:

1. Objetivo o dirección que perseguir. ¿A qué reto te vas a enfrentar?
2. Comprensión del punto de partida. ¿Cuál es la posición actual frente al problema?
3. Fijación del objetivo a alcanzar. ¿Cuál debe ser la posición una vez resuelto el problema?
4. Comenzar las acciones necesarias para llegar al objetivo.
 - i. Iterar por medio de experimentos continuos que conduzcan a alcanzar los objetivos finales.
 - ii. Creación de un sistema de supervisión que compruebe si se está enfocando de manera óptima el problema y si se están consiguiendo los objetivos. Ciclos PDCA o ciclo Deming (Planificar, Realizar, Verificar, Actuar).

3.4.1.- Conclusiones

A través del análisis de las metodologías de implantación *lean*, se extraen las siguientes conclusiones:

- **Información del estado actual.** Todas las metodologías basan sus acciones en base al diagnóstico inicial de la empresa. Esta evaluación siguiendo los principios *lean* debe realizarse en las instalaciones donde se realizan las tareas productivas.
- **Importancia de la formación de los trabajadores.** El factor humano es una de las claves de esta metodología y recíprocamente los operarios son el punto más importante para que la implantación de estos principios sea efectiva.
- **Función de los dirigentes como líderes.** Los impulsores del cambio, ellos son el primer eslabón de la empresa y por tanto los responsables de que se ponga en valor las nuevas formas de trabajo promovidas.
- **Estudio de la cadena de valor.** La base del *lean manufacturing*, reducir y eliminar todas aquellas acciones que no añadan valor a la labor que estamos desempeñando. Por ello es importante analizar la cadena de valor en busca de ineficiencias y acciones superfluas que deben ser eliminadas.



-
- **Metodología de mejora continua.** Crear mecanismos de control de las soluciones introducidas, con el fin de comprobar los resultados y tomar medidas en caso de que no se ajuste al resultado esperado.

Estos puntos han sido recogidos en el modelo metodológico hacia *lean digital industria 4.0 (LDI 4.0)*.



4. Lean digital industria 4.0

4.1.- Introducción

Lean manufacturing e Industria 4.0 han sido considerados tradicionalmente en la literatura como dos conceptos desconectados. Por un lado, se encontraba la filosofía *lean* que busca potenciar la cadena de valor de las empresas eliminando ineficiencias y despilfarros a través de un cambio en la cultura de trabajo, introduciendo herramientas de mejora continua y de estandarización. Por otro lado, estaba la Industria 4.0, que no se basa en una metodología de trabajo específica para optimizar la producción, sino que promueve la implantación de las tecnologías habilitadoras con el propósito de conseguir ventajas operacionales.

En este capítulo se argumentan las sinergias existentes entre ambos conceptos y al mismo tiempo se pone en valor los beneficios de su implantación conjunta, para alcanzar el objetivo de la excelencia operativa. Así nace el concepto desarrollado en este trabajo *lean digital industria 4.0 (LDI 4.0)*.

4.2.- Estado del arte: Integración lean manufacturing e Industria 4.0

La integración de *lean manufacturing* e Industria 4.0 no es trivial, son dos modelos que unidos por el objetivo que persiguen aumentar el desempeño de las plantas industriales, pero a la vez separados por las herramientas utilizadas para afrontar este reto.

4.2.1.- Discordancias lean manufacturing e Industria 4.0

Una de las premisas que fija Toyota, en las empresas de su grupo, a la hora de implementar soluciones que permitan optimizar la producción, es priorizar los proyectos de mayor simplicidad, utilizar aquellas herramientas que no supongan coste, aumento de personal o un



aumento del espacio ocupado. Analizando esta afirmación se observa la gran diferencia de base existente entre ambos conceptos, introducir las tecnologías habilitadoras supone un coste para las empresas industriales y este puede ser alto, según la solución y el método de implantación escogido.

En este mismo sentido, investigaciones como las realizadas por Rüttimann et al, (2016) o Piszczalski (2000), tratan a nivel teórico posibles incompatibilidades entre la implantación de tecnologías habilitadoras y los principios *lean* en el sector industrial. Los puntos de conflicto encontrados son:

- **Disminución de la información disponible por los operarios en planta.** La metodología *lean* promueve la visualización de la información por parte del personal, aquella que más afecta a sus tareas, fomentando así la participación y motivación del personal en la mejora continua. En contraposición la digitalización impulsa una gestión y toma de decisiones centralizada, a través de la recogida de datos en planta mediante dispositivos inalámbricos. El tratamiento y análisis de estos datos se realiza al mismo tiempo por medios digitales.
- **Distanciamiento de los gerentes de la planta productiva.** En relación con lo dispuesto anteriormente, la centralización de la toma de decisiones y el análisis de la información por medios digitales puede facilitar la gestión, pero a la vez puede distanciar a los responsables de la realidad. En *lean* es clave visualizar los problemas de primera mano, la observación del funcionamiento de la planta facilita la detección de fallos y la resolución de estos.
- **Falta de compromiso con el cambio.** El objetivo es implantar una metodología de trabajo que perduró y se optimizó en el tiempo. Para conseguirlo, el compromiso de los dirigentes debe ser máximo siendo los referentes para el resto de la plantilla. La mejor manera de incentivar al personal de la línea de producción es que estos observen a sus superiores comprometidos con el cambio. Sin embargo, la visualización de resultados a través de gráficos y análisis digitales puede inducir a lo contrario.



- **Implementación de funcionalidades innecesarias.** Error común a la hora de llevar a cabo un proceso hacia la Industria 4.0, implementar funcionalidades añadidas a las inicialmente previstas. Estas desviaciones suelen ser innecesarias, suponen retrasos en el proyecto y aumentan los costes, todo ello contrario a la filosofía *lean*, cuya base es la eliminación de aspectos que no aporten valor añadido.

En resumen, las tecnologías habilitadoras encaminan la gestión de la planta productiva hacia la centralización, mientras que la filosofía *lean* promueve la colaboración y que el personal se sienta participe de las decisiones y la mejora del proceso, Figura 4.1.

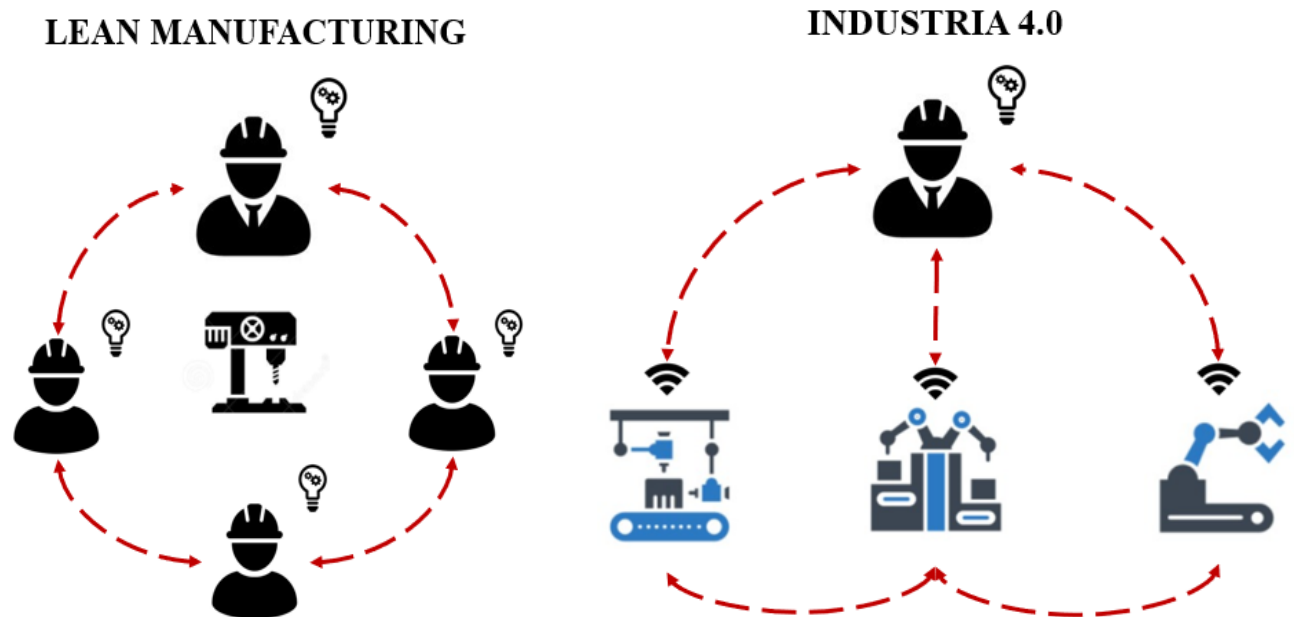


Figura 4.1. *Lean manufacturing* vs Industria 4.0, conceptos tradicionales (Fuente: Elaboración propia).

Estas discrepancias ahondan en la importancia de tener un conocimiento claro y un grado de compromiso alto con los principios *lean*, en el momento de iniciar el camino hacia *lean digital industria 4.0*, con el fin de evitar estas incompatibilidades:

- **Por un lado**, se ha de disponer de una metodología que defina con claridad la hoja de ruta a llevar a cabo, así como el alcance del proyecto, en la que se analice de forma



personalizada las características de cada empresa, a través de la recogida de datos y la observación in situ.

- **Por otro lado**, cobra gran relevancia las actuaciones de los dirigentes en la transformación de las empresas, su concienciación y motivación es clave para que la implantación de *lean digital industria 4.0* sea efectiva. Estos han de ser conscientes de que la tecnología puede facilitar la gestión, pero no va a eliminar los problemas de forma instantánea y al mismo tiempo deben entender que los primeros impulsores de la metodología *lean* deben ser ellos mismos. Con el siguiente ejemplo se explica el término compromiso, si se desea mejorar o acercarse al objetivo de los cero defectos o calidad a la primera, los primeros que deben dar importancia a este aspecto deben ser los máximos dirigentes acudiendo a las reuniones del departamento de calidad, Figura 4.2, en las que se discuten las diferentes problemáticas al respecto, en ese momento el resto de la organización visualizará la importancia de seguir las nuevas directrices y tomará como propia esta filosofía.

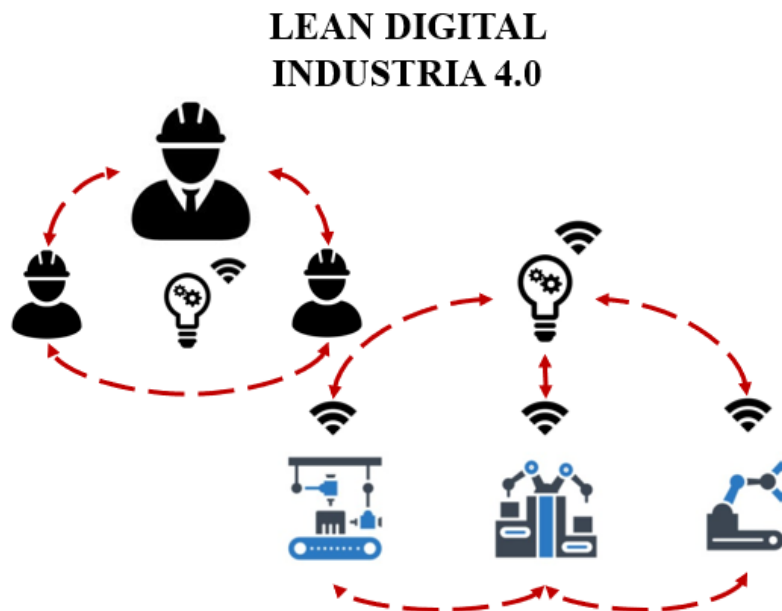


Figura 4.2. Concepto de integración *lean manufacturing* e Industria 4.0 (Fuente: Elaboración propia).



Todo cambio conlleva un periodo de adaptación en el que debe evitarse la desmotivación, el proceso será iterativo basado en la mejora continua y no siempre se obtendrán los resultados esperados. Por ello es importante contar con un líder del cambio que mantenga el rumbo ante la aparición de dificultades.

La conclusión es que el pensamiento *lean* debe estar presente en todas las fases del plan de digitalización, desde el diagnóstico, pasando por el análisis, la implementación y el seguimiento, facilitando la toma de decisiones y evitando que se incurra en ineficiencias y sobrecostes que desvíen el proyecto del objetivo final.

4.2.2.- Sinergias lean manufacturing e Industria

4.0

En contraposición, recientes estudios han analizado las sinergias entre los dos conceptos, entre estos se encuentran: Küpper et al, (2017), Ruiz et al, (2018), Buer et al, (2018) o Prinz et al, (2018).

Küpper et al, (2017) centran el estudio en el análisis de los beneficios obtenidos por las empresas industriales al incorporar proyectos basados en el concepto denominado *Lean Industry 4.0*.

Los principales beneficios se han focalizado en cinco aspectos de las líneas de producción: **flexibilidad, productividad, velocidad, calidad y seguridad**. También han cuantificado el potencial de mejora de las soluciones impulsadas por *Lean Industry 4.0*. Realizando una comparativa entre la implantación de iniciativas *lean* e Industria 4.0 por separado y su implantación conjunta, el resultado es el siguiente, Tabla 4.1:



Estado Inicial	Optimización lean	Lean Industry 4.0
<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de trabajos múltiple. • Diferentes planificaciones y procesos. • Altos niveles de trabajos manuales. • Baja calidad y frecuentes reprocesados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de trabajo simplificado. • Estandarización de tareas. • Mejora de puestos de trabajo y seguridad. <p>Reducción costes: 15% / 20%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Información en tiempo real planifica el flujo de trabajo <i>lean</i>. • Robots apoyan el trabajo de los operarios. • Cambios de herramienta automatizados. • Traslados de producto automatizados. • Control de calidad mediante dispositivos de visión digital. • Mantenimiento predictivo. • Estandarización de tareas. • Sensores aumentan la seguridad. <p>Reducción costes ≈ 40%</p>
	<p>Optimización Industria 4.0</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento estándares digitales. • Robotización producción. • Cambios de herramienta automatizados. • Transporte de producto automatizado. • Mantenimiento predictivo. • Procesos ineficientes. • Baja calidad (reprocesados). <p>Reducción costes: 10% / 15%</p>	

Tabla 4.1. Cuantificación mejora *Lean Industry 4.0* (Elaboración propia a partir de Küpper et al, (2017)).

La temática del estudio realizado por Ruiz et al, (2018), se centra en la digitalización de los entornos industriales *lean*. Llegando a la siguiente conclusión: “*las tecnologías habilitadoras actúan como atenuadoras de las barreras de implementación de la metodología lean manufacturing*”.

Buer et al, (2018) analizan los diferentes puntos de vista recogidos en la literatura acerca de los dos términos y como se ha estudiado su interrelación. Una de las conclusiones reflejadas hace referencia a la falta de estudios en los que se propongan hojas de ruta que faciliten la implantación de la Industria 4.0 y *lean manufacturing* de forma integrada. **La inexistencia de publicaciones al respecto se achaca a que la conexión de ambos es un área de investigación inmadura.**



Por último, Prinz et al, (2018) en base a una revisión profunda de la literatura realizada respecto a los dos términos, concluyen que un proceso de digitalización únicamente se puede implementar de forma satisfactoria si la empresa involucrada y en particular sus procesos productivos, han sido optimizados de acuerdo al pensamiento *lean*.

Estos estudios argumentan la existencia de una conexión entre los dos conceptos y servirán de base sobre la que se cimentará el análisis realizado. También ponen de manifiesto la necesidad del presente trabajo, afrontar la realización de una metodología en la que se implementen soluciones de forma integrada. En el siguiente apartado se analiza los beneficios de la interacción de ambos términos.

4.3.- Interacción lean manufacturing e Industria 4.0

La interacción se explica a partir de como las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 apoyan e impulsan las iniciativas desarrolladas en la metodología *lean*, Figura 4.3. Estas iniciativas o principios se estructuran según el estudio, Shah et al. (2007). En la argumentación, se toma como premisa que el proceso de introducción de *lean digital industria 4.0* es realizado por un fabricante de productos industriales.

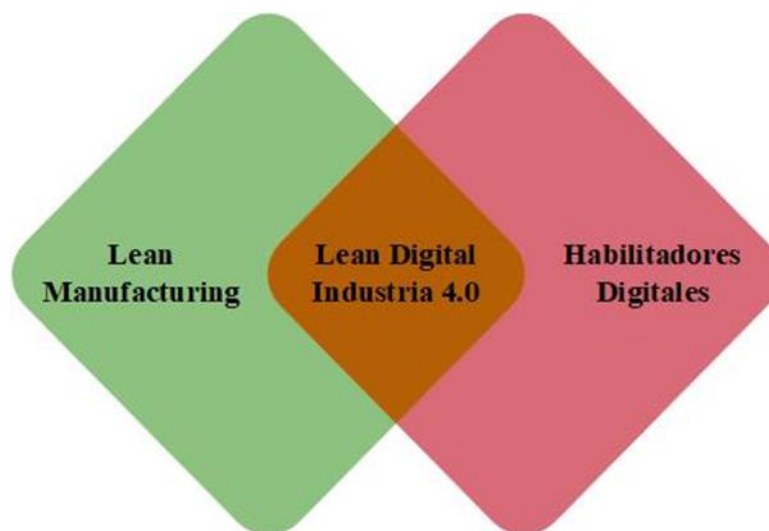


Figura 4.3. *Lean digital industria 4.0* (Fuente: Elaboración propia).



4.3.1.- Proveedores

Con el objetivo de crear un ecosistema *lean* y de mejora continua, es necesario que las partes implicadas en la cadena de suministro de un producto (proveedor, fabricante, cliente) se encaminen en la misma dirección.

La relación entre los agentes, Figura 4.4, sufrirá cambios, introduciendo herramientas que fomenten la colaboración entre estos, para ello las tecnologías habilitadoras cobran gran importancia.

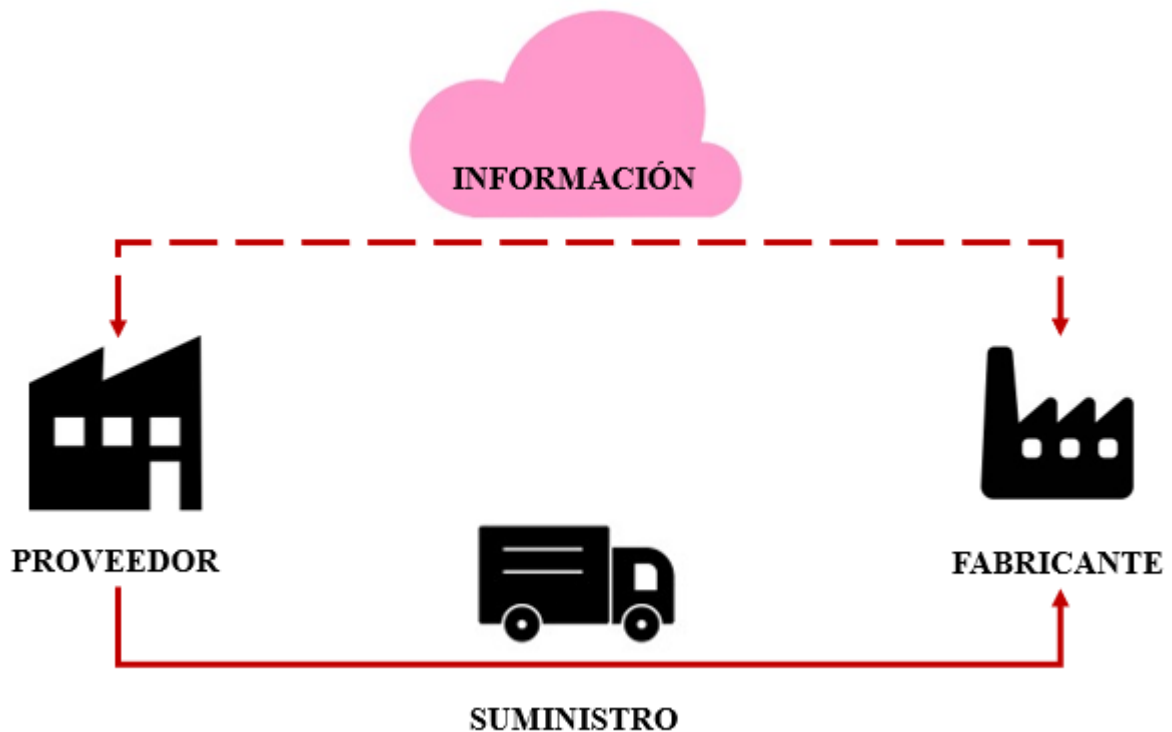


Figura 4.4. Relación Proveedor/Fabricante (Fuente: Elaboración propia).

Existen tres puntos claves en la relación entre proveedor y fabricante:

- **Retroalimentación de información**

La transmisión de información es un elemento importante a la hora de reducir los despilfarros. Conocer datos acerca del suministro del producto permite ajustar la producción y en caso de discrepancias llevar a cabo acciones de contingencia. Existen tecnologías



habilitadoras que permiten esta comunicación, **sistemas cloud** que permiten observar y compartir gran cantidad de información en tiempo real. Aunque se ha avanzado en este tipo de colaboración, permanecen latentes trabas a causa de la falta de estandarización entre los sistemas software y hardware de diferentes empresas, Weyer et al, (2015).

- **Desarrollo proveedores**

La filosofía *lean* considera que todo beneficio respecto a mejoras a nivel operativo que obtengan las empresas participantes en el negocio, redundara en ventajas para en toda la cadena. Por ello promueve la colaboración entre empresas, compartiendo el conocimiento y experiencia en gestión de las plantas productivas. Los expertos de logística y responsables de la línea de producción del fabricante se trasladan a las instalaciones del proveedor, para apoyarle en la optimización de los procesos internos.

Una herramienta que facilita la forma de compartir e inculcar el *know-how* de la empresa, con métodos que promueven la involucración de trabajadores de diferentes departamentos y puestos de responsabilidad, con el fin de compartir experiencias y distintas visiones de afrontar los problemas. De esta forma se pueden transmitir de una forma más efectiva los principios *lean*, llegando a todos los niveles de la organización.

- **Políticas *Just in Time* (JIT)**

El objetivo es acercarse al inventario cero. Para lograrlo resulta imprescindible la colaboración de las empresas proveedoras, alcanzando acuerdos de suministro en los que se fije las unidades y el tiempo exacto de llegada de los pedidos, para conseguir el menor almacenamiento posible.

En la actualidad los softwares de **gestión de existencias y pedidos** son capaces de coordinar estas operaciones de forma autónoma, pudiéndose conectar estos sistemas con los softwares de **planificación de operaciones** del proveedor.

Otro modelo que facilita la gestión de estas entregas consiste en la externalización del almacenamiento a la empresa proveedora u operador logístico. Para ello debe existir una transmisión de información, constante y en tiempo real, sobre los niveles productivos para



garantizar las entregas JIT, con este propósito se han desarrollado redes de comunicación más fiables y rápidas, como las redes de banda ancha.

4.3.2.- Clientes

Los clientes son la base de todo negocio, en el entorno de incertidumbre del sector industrial, satisfacer las necesidades de estos, cobra mayor relevancia. Además de modificar las relaciones con los proveedores *lean digital industria 4.0*, también transforma la comunicación con los clientes, Figura 4.5, para optimizar el suministro y abrir nuevas vías de negocio.

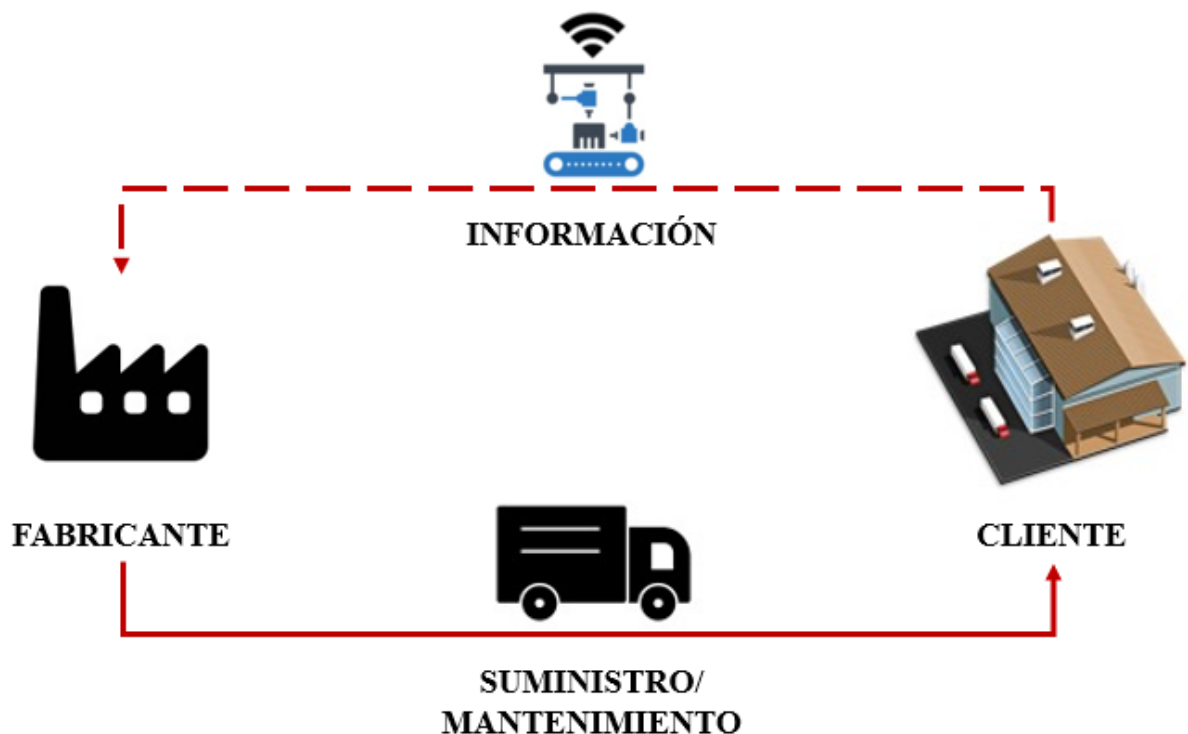


Figura 4.5. Relación Fabricante/Cliente (Fuente: Elaboración propia).

- **Involucrar a los clientes**

A través de la introducción de dispositivos capaces de parametrizar el funcionamiento de los equipos y transmitir esta información, se abren nuevas vías de negocio en los que cobra una fuerza equivalente, la venta del producto como la posterior recogida de información del funcionamiento de este. Esta información postventa permite:



Primero crear un nuevo servicio, en el que se ofrece al cliente un mantenimiento predictivo de la máquina, a partir de la información recogida sobre los parámetros de funcionamiento y **algoritmos de analítica avanzada**. Este servicio crea dos beneficios principales, genera una mayor fidelidad y satisfacción en el cliente (reducción paradas) y también, una ventaja competitiva para la empresa suministradora. La información recopilada permite rediseñar el producto a partir del análisis de las problemáticas detectadas y facilita una mejor predicción de la producción de repuestos, disminuyendo la variabilidad de la demanda.

Otro uso de la información relativa a los clientes proviene de la aplicación de **plataformas colaborativas** (fabricante/cliente) con el fin de conocer el grado de satisfacción del cliente con el producto y así acercar el diseño a las exigencias del mercado. Evitando la fabricación de características sin valor añadido para el destinatario.

Con el mismo objetivo de acercar las características del producto ofertado a las necesidades del cliente, Ries (2011) elaboro una metodología disruptiva *lean startup*. En esta se desarrolla la idea de elaborar productos mínimos viables para testar la respuesta de los clientes, si el resultado no es el esperado, se pivota la estrategia en base a la experiencia adquirida. Este concepto al mismo tiempo es válido para acometer la implantación de soluciones como las desarrolladas en el modelo *lean digital industria 4.0*. Ideándose, implantaciones a través de proyectos piloto, más simples y menos costosos, con el fin de estudiar los efectos sin grandes riesgos, una vez optimiza la solución se expande a otras zonas de la planta industrial.

4.3.3.- Procesos

Optimizar el flujo de trabajos y productos en la planta industrial, así como, aumentar la flexibilidad productiva, reduciendo el tiempo dedicado a tareas sin valor añadido, son las ventajas aportadas por la implantación *lean*. Estas se potencian con la incorporación de la digitalización, Figura 4.6.

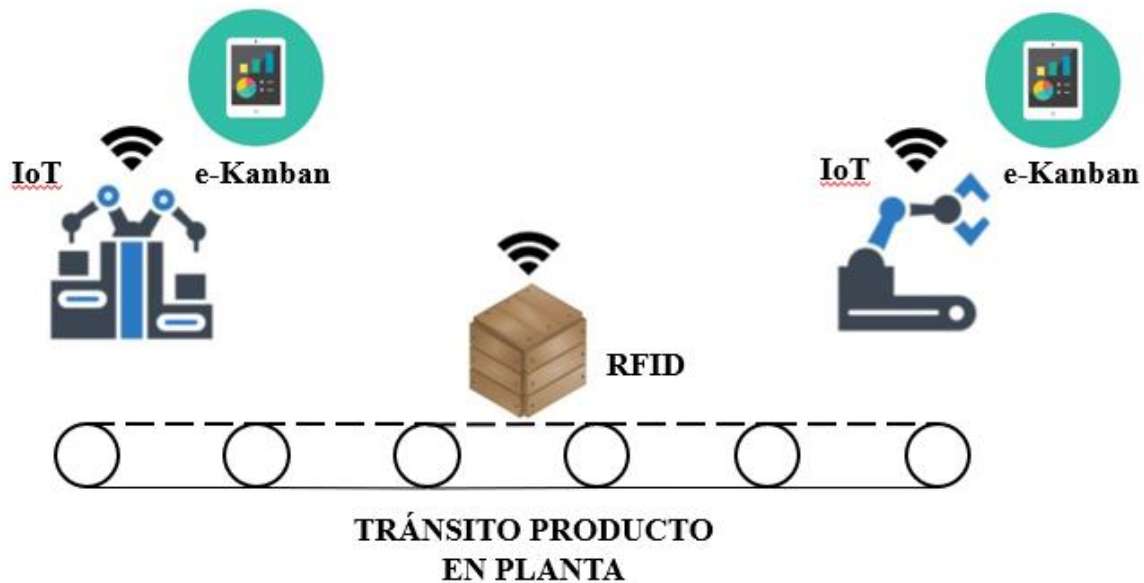


Figura 4.6. Sistema productivo *lean digital industria 4.0* (Fuente: Elaboración propia).

- **Producción Pull**

La producción *pull* consiste en fabricar únicamente cuando existe demanda y en la cantidad requerida, evitando despilfarros como la sobreproducción y el almacenamiento. La técnica que introduce *lean* para gestionar este sistema es el *Kanban*, este sistema identifica los productos que están situadas en una estación de trabajo por medio de una tarjeta denominada *Kanban* que se va trasladando de puesto a puesto. La tarjeta es utilizada como vía de comunicación en la línea, ofreciendo información al operario sobre las tareas y características del producto a realizar, además se utilizan para el control de tiempos y colas.

Apoyándose en la tecnología actual, estas tarjetas pasan a ser digitales, *e-Kanban*, aportando las siguientes ventajas. Facilita el flujo de información, simplificando la detección y resolución de ineficiencias como excesivas colas o puestos inoperativos. Este sistema se conecta con la gestión de existencias permitiendo generar ordenes de pedido de forma óptima y automatizada.



- **Flujo continuo y reducción tiempo parada**

La utilización de políticas JIT y una producción *pull*, se encuentra directamente relacionado con el flujo de producción. Estos métodos de fabricación impulsan la utilización de una producción nivelada.

Existen dos tecnologías con gran aplicabilidad en este propósito, sistemas de identificación **RFID** y el **Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things)**. La combinación de ambas tecnologías permite guiar al producto de forma autónoma por la línea de fabricación reduciendo los tiempos de espera y nivelando la producción e impulsando el flujo continuo.

4.3.4.- Factores humanos y control

El factor humano y de control hace referencia al control de la calidad y la prevención de fallos y paradas en las líneas de producción que provocan incumplimientos en la planificación.

- **Mantenimiento preventivo, control estadístico**

Con la introducción de las tecnologías habilitadoras como el **Big Data**, los equipos están preparados para llevar a cabo una monitorización de los parámetros de funcionamiento, añadiendo **algoritmos de analítica avanzada** el posterior procesado de la información permite una mejora en la planificación del mantenimiento. Las máquinas registran su propio estado y el desgaste de sus componentes permitiendo que las piezas completen su ciclo de vida y evitando roturas inesperadas.

Este es un claro ejemplo del impulso aportado por las tecnologías habilitadoras. El concepto tradicional de *lean* habla de un mantenimiento preventivo, sin embargo, con los avances actuales se puede realizar un mantenimiento predictivo que reduce los costes y optimiza la utilización de los recursos.

- **Involucrar a los empleados**

La metodología *lean* da gran importancia a la labor de los operarios en planta. A ellos se les da una gran responsabilidad en la consecución de un adecuado mantenimiento de la



maquinaria y puesto de trabajo, también se les otorgan herramientas para el control de calidad de los productos.

El mantenimiento del equipo productivo por parte de los operarios ayuda a disminuir el tiempo de parada de producción.

En lo referido a la calidad, esta debe ser controlada en cada proceso de producción, tratando de evitar las revisiones generales de calidad. El motivo es que fijando rutinas de calidad en cada puesto de trabajo se evitan despilfarros de tiempo y recursos en el mecanizado de productos defectuosos, al mismo tiempo se reducirá el número de productos rechazados, mejorando la satisfacción de los clientes. Este sistema no solo debe quedar en una revisión y eliminación de productos defectuosos, sino que en caso de fallo se debe encontrar la causa, con el objetivo de eliminar la raíz del problema.

La Industria 4.0 facilita ambas acciones, un ejemplo de tecnología habilitadora aplicada en ambos aspectos es la **realidad aumentada**. Esta herramienta permite detectar errores con gran facilidad y además visualizar las operaciones en tiempo real desde un centro de control, esta función es de gran utilidad tanto en las labores de mantenimiento como en el control de calidad de los productos.

4.3.5.- Conclusiones

A modo de resumen la Tabla 4.2 muestra los principios *lean* y tecnologías habilitadoras aplicadas en cada una de las dimensiones, así como las mejoras que aporta su implantación.



	PRINCIPIO	TECNOLOGÍA	MEJORAS
Proveedores	Retroalimentación información Políticas <i>Just in Time</i> Desarrollo proveedores	Sistemas de computación en la nube (<i>cloud</i>) Redes de banda ancha Innovación abierta	Mejor ajuste producción Reducción almacenamiento Mejor transmisión del conocimiento
Clientes	Involucrar a los clientes	Redes inalámbricas de sensores Plataformas colaborativas	Nuevos modelos de negocio Mejores previsiones demanda
Procesos	Producción <i>pull</i> Flujo continuo, reducción tiempo de parada	<i>e-Kanban</i> (Señalética digital) Identificación RFID Internet de las cosas (IoT)	Aumento de la flexibilidad Mejora en la visualización de problemas Reducción tiempos de preparación
Factores humanos y control	Involucración Trabajadores Mantenimiento preventivo	Realidad Aumentada <i>Big Data</i> Análítica Avanzada	Personal comprometido Mejor rendimiento Mantenimiento predictivo

Tabla 4.2. Principio-Tecnología-Beneficio LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).



5. Modelo metodológico lean digital industria 4.0

5.1.- Introducción

El asesoramiento hacia el concepto *lean digital industria 4.0* debe realizarse de forma individual y personalizada, focalizándose en las dimensiones clave de la empresa estudiada. Las empresas presentan diferentes grados de digitalización y características específicas que provocan la aparición de carencias o debilidades y oportunidades de mejora diferentes.

Antes de acometer el proceso de digitalización de una empresa *lean digital industria 4.0* promueve acciones para mejorar el conocimiento del funcionamiento interno. Es necesario tener un conocimiento profundo del modelo de negocio de la empresa y el funcionamiento de esta antes de plantear cualquier solución, siendo este uno de los propósitos de la utilización de los principios *lean*.

La metodología *lean* permite simplificar los procesos productivos y crear una filosofía de trabajo estructurada y optimizada. Estas características tienen gran importancia a la hora de responder a las preguntas más comunes realizadas al comienzo de un proceso de digitalización: *¿En qué proceso se podrían encontrar mejoras introduciendo una solución digital? ¿Cuál es la tecnología que se debe introducir? ¿Por qué se ha de introducir esa solución? ¿Cuáles son los beneficios esperados?*

En este capítulo se explican las diferentes herramientas en el desarrollo de la metodología.

5.2.- Dimensiones analizadas

El diagnóstico de la situación actual de la empresa se estructura en dimensiones clave. La elección de estas se ha realizado a partir de los modelos analizados en los apartados 2.6 y 3.4, en los que se ha estudiado las metodologías de implantación de Industria 4.0 y *lean*



manufacturing. A continuación, se presentan las áreas o dimensiones clave más relevantes desde el punto de vista *lean digital industria 4.0*, Figura 5.1.

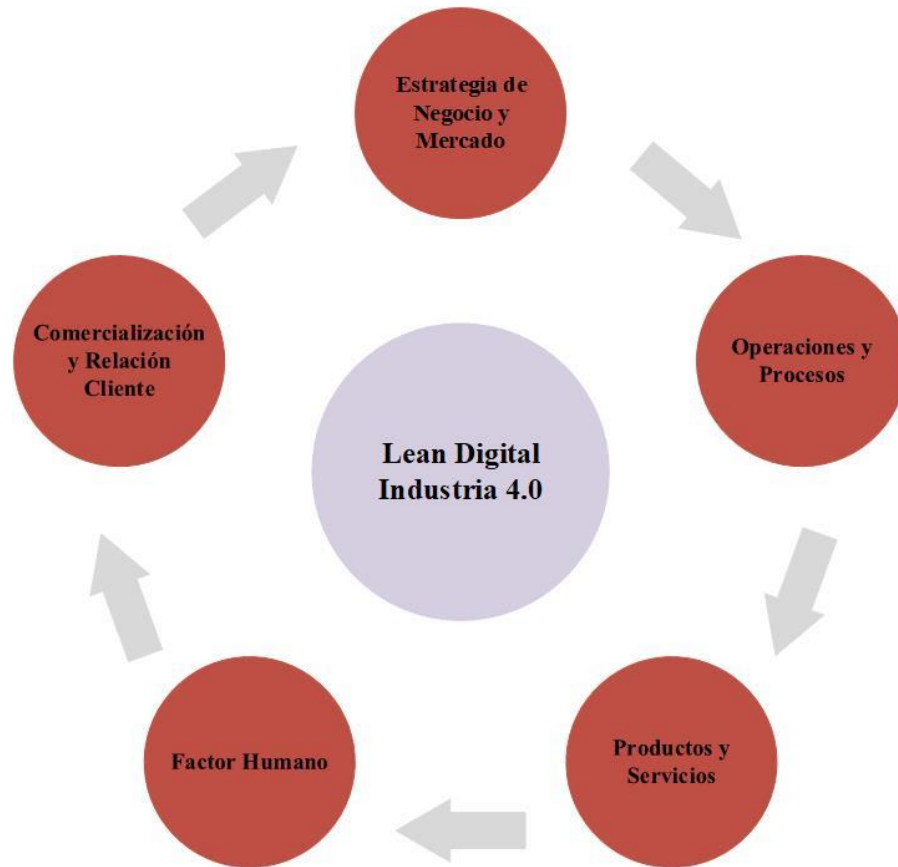


Figura 5.1. Dimensiones *lean digital industria 4.0* (Fuente: Elaboración propia).

Cada dimensión analizada se subdivide en *palancas de transformación*. El objetivo es trabajar con unidades de análisis elementales, Figura 5.2, en las que se integran actividades y procesos clave para la transformación en **LDI 4.0**.

5.2.1.- Estrategia de Negocio y Mercado

Hace referencia a la definición de la cultura interna de la empresa y su forma de afrontar los nuevos desafíos. Identificando la motivación de la empresa para afrontar un proceso de transformación profundo como el que supone la adopción de *lean digital industria 4.0*. Además, se evalúa la forma de relacionarse con otros agentes involucrados y el grado de conocimiento acerca de la Industria 4.0 y los principios *lean*. Las metodologías de implantación en Industria 4.0 hacen referencia a la evaluación de esta dimensión.



- Liderazgo.
- Cercanía Industria 4.0.
- Compromiso.
- Cercanía *lean manufacturing*.
- Relación con el entorno.

5.2.2.- Operaciones y Procesos

La siguiente área analizada evalúa el sistema productivo de la empresa industrial. Con este objetivo se focaliza el estudio en la gestión, optimización, flexibilización y las medidas de control implantadas. Esta dimensión tiene gran vinculación con los principios *lean*, ya que en ella se enfatiza en la adopción de aspectos como la cadena de valor, flujo continuo en planta, evaluación de tareas o mecanismos de visualización.

- Gestión de operaciones.
- Optimización.
- Flexibilización.
- Infraestructura digital.
- Acciones de control.

5.2.3.- Productos y Servicios

En la actualidad conseguir un producto diferenciado e innovador, que aporte un valor diferencial al cliente, es un factor importante para las empresas del sector industrial. En esta área se comprueba la adaptación de la empresa a esta nueva tendencia, evaluando la capacidad de crear productos innovadores, la importancia de la calidad y el diseño en los productos. Estos aspectos hacen referencia a la Industria 4.0, pero también se abordan temáticas *lean* como por ejemplo el estudio de la adaptación del producto a las exigencias del cliente, evitando despilfarros.

- Innovación.
- Calidad.
- Diseño.



5.2.4.- Factor Humano

Esta dimensión se centra en uno de los aspectos más importantes de cualquier empresa, el personal en plantilla. En gran parte de los diagnósticos Industria 4.0 no se hace referencia explícita a este elemento. En cambio, en esta metodología juega un papel fundamental, como en todo sistema *lean*, considerando a estos imprescindibles para el éxito de la transformación. Con el objetivo de evaluar esta área se focaliza el estudio en diferentes aspectos: grado de potestad para llevar a cabo acciones, la participación y colaboración entre los trabajadores de la empresa, optimización de los puestos de trabajo y las tareas que en estos se realizan y por último la formación tanto en habilidades digitales como en conceptos *lean*.

- Colaboración interna.
- Formación.
- Medidas de participación.
- Operación en planta.

5.2.5.- Comercialización y Relación Cliente

La última dimensión analizada se enfoca hacia la fase de comercialización y las vías de comunicación y colaboración con los clientes. El análisis se divide en tres subáreas, haciendo hincapié en el análisis de la información, ya que disponer de herramientas de recogida de información sobre el comportamiento de los clientes y su respectivo análisis es la base para la construcción de una empresa robusta e innovadora. Esta área puede estar más cercana a un enfoque de Industria 4.0, pero también afecta a aspectos *lean*, una mayor información implica que la producción puede acercarse en mayor medida a la demanda real afectando al mismo tiempo al almacenamiento.



- Relación con el cliente.
- Análisis de la información.
- Puesta en valor.

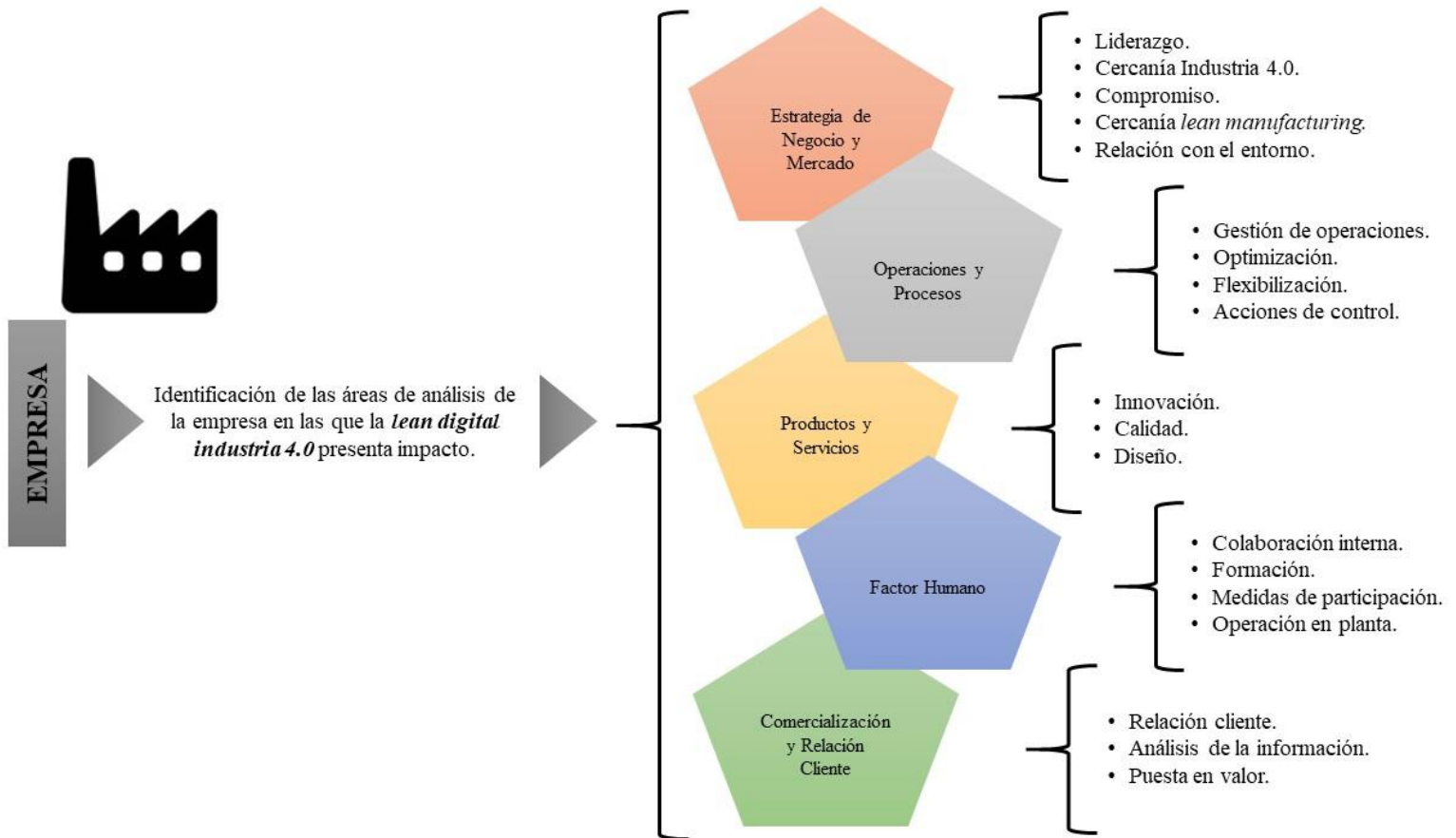


Figura 5.2. Estructura análisis LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).

5.3.- Herramienta de diagnóstico

A partir de la estructura del análisis, se ha elaborado una herramienta de diagnóstico desarrollada en el software de Microsoft office Excel, 0. Con ella se pretende realizar una evaluación del nivel de cercanía de la empresa con el concepto **LDI 4.0**. Para comprobar su operatividad, se ha utilizado una empresa ejemplo del sector industrial español, como se puede observar en el [Anexo IV. Ejemplo de informe de diagnóstico](#). La empresa analizada se dedica a la producción de cosméticos y cuenta con una plantilla aproximada de 100 trabajadores.



Código	DIMENSIÓN	PALANCAS	REQUISITO	Respuesta
1		Liderazgo	La empresa es consciente de la necesidad de realizar cambios en su funcionamiento, para asegurar la sostenibilidad.	X
2			La empresa no está satisfecha con los resultados obtenidos en la actualidad.	X
3			La empresa estima que no se está aprovechando todo el potencial de la planta productiva.	
4			La empresa es conocedora de las dimensiones claves en su modelo de negocio.	
5		Cercanía Industria 4.0	La empresa es conocedora de las posibilidades de mejora por medio de la implantación Industria 4.0.	X
6			Los dirigentes afrontan el proceso de digitalización, como un proceso clave para su negocio.	X
7			La empresa dispone de una estrategia para encajarse hacia la Industria 4.0.	
8			La empresa dispone de una planificación económica financiera que contempla las inversiones necesarias en infraestructuras para la digitalización con los hitos relevantes para su seguimiento.	X

Niveles	Porcentaje Requerido
Líder	80%
Avanzada	60%
Competitiva	30%
Rezagada	15%
No aplicable	5%

Dimensiones	Ponderación Dimensión
Estrategia de Negocio y Mercado	3

Herramienta de diagnóstico LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).

La elaboración de esta herramienta ha seguido los siguientes pasos:

1. Peso o nivel de importancia de las dimensiones y palancas **LDI 4.0**.
2. Elaboración de requisitos que debería cumplir una empresa que este adaptada a **LDI 4.0**, divididos en dimensiones y palancas.
3. Visualización de resultados (Tablas y gráficas).

5.3.1.- Peso de dimensiones y palancas

El primer paso dado es la determinación de los pesos de cada dimensión y palanca estudiados con la herramienta de diagnóstico.

En el caso de las **dimensiones**, se ha considerado cinco posibles valores, dando un valor de cinco a aquella dimensión con mayor peso en la empresa y uno a la de menor. A continuación, se recogen los pesos otorgados a las diferentes dimensiones:

1. **Operaciones y Procesos:** idea principal de **LDI 4.0**, mejorar el funcionamiento interno de las empresas. **Peso: 5.**
2. **Factor Humano:** visto como pilar para que los cambios tengan impacto y perduren. **Peso: 4.**



3. **Estrategia de Negocio y Mercado:** cultura corporativa importancia de ser conscientes de las nuevas necesidades, si no se es consciente de las amenazas el impacto será pequeño. **Peso: 3.**
4. **Productos y Servicios:** adaptación de los productos y grado de diferenciación, importante en cuanto a nivel competitivo y capacidad de innovación. **Peso: 3.**
5. **Comercialización y Relación Cliente:** la forma de relacionarse y satisfacer a los clientes es importante en un mercado tan competitivo como el actual. **Peso: 2.**



Figura 5.3. Pesos dimensiones LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).

Por otra parte, las **palancas** se han ponderado para la empresa ejemplo utilizando los niveles definidos en la Tabla 5.3. En este caso se han analizado y ponderado por separado las palancas propias de cada dimensión, dando un mayor valor a aquellas con mayor influencia en el concepto *lean digital industria 4.0*.



	Nivel Palanca
Nivel bajo	1
Nivel medio	3
Nivel alto	5

Tabla 5.3. Ponderación palancas (Fuente: Elaboración propia).

En la Tabla 5.4 se observa el peso final de cada una de las dimensiones y palancas dentro de la herramienta.

Dimensión	Peso	Palanca	Peso
Estrategia de Negocio y Mercado	18%	Liderazgo	27%
		Cercanía Industria 4.0	9%
		Compromiso	27%
		Cercanía <i>lean manufacturing</i>	9%
		Relación con el entorno	27%
Operaciones y Procesos	29%	Gestión de operaciones	18%
		Optimización	18%
		Flexibilización	29%
		Infraestructura digital	29%
		Acciones de control	6%
Productos y Servicios	18%	Innovación	33%
		Calidad	33%
		Diseño	33%
Factor Humano	24%	Colaboración interna	10%
		Formación	50%
		Medidas de participación	10%
		Operación en planta	30%



Comercialización y		Relación Cliente	33%
Relación Cliente	12%	Análisis de la información	56%
		Puesta en valor	11%

Tabla 5.4. Pesos dimensiones y palancas LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).

5.3.2.- Requisitos LDI 4.0

Una vez escogidos los pesos de las dimensiones y palancas, se ha realizado la elaboración de los requisitos necesarios para identificar a una empresa adaptada al concepto **LDI 4.0**.

Siguiendo estos principios, se han ideado 93 requisitos por los cuales se cubre cada una de las dimensiones y palancas anteriormente definidas. El número de requisitos recogidos en cada palanca guarda relación con el nivel de importancia de esta, teniendo mayor número de requisitos aquellas con mayor ponderación.

La ponderación dada a cada palanca, así como, la definición de cada uno de los requisitos se puede observar en [Anexo II. Herramienta de diagnóstico](#).

5.3.3.- Funcionamiento

El sistema de evaluación consiste en analizar a la empresa receptora del servicio y responder a cada requisito con el siguiente formato **Cumple** o **No cumple con la afirmación**. Se analiza si la empresa cumple o no con los requisitos definidos, y en función de este dato y de las ponderaciones establecidas se le asigna una puntuación.

Aquellas empresas que consigan una puntuación más elevada serán aquellas más adaptadas a **LDI 4.0**. A partir del resultado obtenido en cada una de las dimensiones y palancas, la empresa queda encuadrada en diferentes niveles.



5.4.- Niveles

En la presente metodología se identifican **cuatro niveles de empresas**, Figura 5.4, existiendo un nivel extra para aquellas empresas que no cumplen con ninguno de los requisitos. En la imagen también se observan los márgenes de cada grupo fijando el nivel mínimo de adaptación en cada uno de ellos:



Figura 5.4. Niveles *lean digital industria 4.0* (Fuente: Elaboración propia).

A continuación, se detalla en las siguientes tablas la situación cualitativa esperable en cada nivel para cada una de las dimensiones del modelo.

5.4.1.- Rezagada

Dimensión	Situación cualitativa
Estrategia de Negocio y Mercado	La empresa es consciente de la importancia de realizar cambios en el proceso productivo con el fin de asegurar la sostenibilidad. Conoce los conceptos de Industria 4.0 y <i>lean manufacturing</i> , pero no aplica ese conocimiento en la empresa. La estructura organizativa es básica no se han otorgado responsabilidades para acometer un proceso de transformación.
Procesos y Operaciones	Ninguno o muy pocos de los procesos productivos están automatizados. Las tareas de los operarios no se encuentran estandarizadas. Los datos disponibles en producción se recogen principalmente de forma manual. No se dispone de software para el control de la producción. Se realiza un mantenimiento correctivo de los equipos.
Productos y Servicios	No se han introducido nuevas funcionalidades en los productos o servicios ofrecidos por medios digitales. No existe un protocolo que incentive las acciones de innovación. No existen servicios asociados a productos.



Factor Humano	El personal en planta no cuenta con las capacidades digitales suficientes para desenvolverse en un entorno digital. La empresa no cuenta con mecanismos que permitan la participación de los operarios en las mejoras de los procesos productivos.
Comercialización y Relación Cliente	Los canales de comunicación con los clientes son los tradicionales y la relación con los mismos es puramente comercial. No se realizan estudios para la predicción del comportamiento del mercado ni de la satisfacción de los clientes con el producto ofrecido.

Tabla 5.5. Situación empresa rezagada (Fuente: Elaboración propia).

5.4.2.- Competitiva

Dimensión	Situación cualitativa
Estrategia de Negocio y Mercado	La estrategia de la empresa expresa de manera informal la necesidad de realizar una transformación en la forma de operar, pero no se recoge partida presupuestaria. Se realizan inversiones para la mejora del desempeño operativo. Existe un departamento encargado de mejorar este aspecto.
Procesos y Operaciones	La planta industrial cuenta con algunos procesos automatizados, pero no existe conexión entre los equipos. Existe un protocolo manual para recoger datos de producción y esto seguidamente se introducen en alguna aplicación software, aunque el análisis realizado a estos datos es básico o no existe. El mantenimiento realizado es correctivo y preventivo (al menos en los equipos más importantes), no se efectúa una recogida de información acerca de los problemas detectados y la respuesta dada.
Productos y Servicios	La empresa conoce las ventajas de la introducción de dispositivos digitales en los productos, como la posibilidad de introducir servicios asociados al producto. Se promueven las acciones de innovación, aunque no existe un protocolo de actuación.
Factor Humano	La mayor parte del personal en planta no cuenta con las capacidades digitales suficientes para desenvolverse en un entorno digital, pero la empresa promueve activamente la formación de los empleados. También se han realizado estudios para la adecuación del puesto de trabajo y existen mecanismos para incentivar la participación del personal.
Comercialización y Relación Cliente	Los canales de comunicación con los clientes son limitados. Se realizan estimaciones del comportamiento del mercado, a partir de lo sucedido en pasados ejercicios. Se realizan encuestas para medir la satisfacción de los clientes con el producto ofrecido.

Tabla 5.6. Situación empresa competitiva (Fuente: Elaboración propia).



5.4.3.- Avanzada

Dimensión	Situación cualitativa
Estrategia de Negocio y Mercado	El plan estratégico de la empresa recoge el proceso de transformación digital, aunque no se ha llegado a formalizar. La empresa también es consciente de los beneficios de la aplicación de los principios <i>lean manufacturing</i> y ha promovido su implantación. Existe un presupuesto específico para desarrollar acciones de mejora de la excelencia operativa y un responsable de coordinar estas acciones.
Procesos y Operaciones	Una gran parte (al menos el 70%) de los procesos productivos susceptibles de ser automatizados han sido automatizados y se han incorporado dispositivos que permiten la conectividad entre los procesos. Se realiza un mantenimiento preventivo, incorporando un protocolo con el fin de realizar análisis de las causas de fallo y resolver problemas intrínsecos al sistema productivo.
Productos y Servicios	La empresa ha ampliado las funcionalidades de los productos ofertados por medio de la introducción de dispositivos digitales. Además, se ha ampliado el catálogo de servicios asociados a los productos. La innovación es un factor clave para el negocio y se ha sistematizado las acciones que la promueven.
Factor Humano	La mayor parte del personal en planta no cuenta con las capacidades digitales suficientes para desenvolverse en un entorno digital, pero la empresa promueve activamente la formación de los empleados. También se han realizado estudios para la adecuación del puesto de trabajo y existen mecanismos para incentivar la participación del personal.
Comercialización y Relación Cliente	Existen canales de comunicación con los clientes, predominando el uso de medios digitales. La relación productor cliente va más allá de una mera relación comercial, sino que se tiene en cuenta las sugerencias del cliente en el diseño de los productos. Los clientes ofrecen información sobre la utilización y consumo de los productos, esta se analiza con el fin de predecir comportamientos futuros.

Tabla 5.7. Situación empresa avanzada (Fuente: Elaboración propia).



5.4.4.- Líder

Dimensión	Situación cualitativa
Estrategia de Negocio y Mercado	El modelo de negocio está centrado en aportar valor al cliente y la cultura corporativa está enfocada a la colaboración, mejora continua y no existe resistencia al cambio. La empresa ha definido y ha dotado de un presupuesto explícito a una estrategia de digitalización coherente con su modelo de negocio apoyándose en los principios <i>lean</i> para alcanzar un mayor nivel de desempeño. Las acciones impulsadas se revisan al menos una vez al año mediante indicadores. Se han definido roles específicos en relación con la transformación y se ha dimensionado una estructura organizativa acorde a las necesidades.
Procesos y Operaciones	En el proceso de fabricación se combinan los habilitadores tecnológicos y los principios <i>lean manufacturing</i> para obtener flexibilidad, agilidad, tiempos y series de fabricación cortos, con eficiencia. Los procesos productivos susceptibles de ser automatizados han sido automatizados (al menos el 90%). Los equipos están conectados en red y se transfieren datos entre ellos. El mantenimiento se realiza de forma sistemática y preventiva. En equipos clave se utiliza un sistema predictivo. Analizando los fallos no planificados y buscando el origen de estos.
Productos y Servicios	El proceso de innovación en productos y servicios se lleva a cabo de forma colaborativa con diferentes entidades externas. Como resultado, los tiempos y costes de desarrollo son menores y las innovaciones generadas son de tipo disruptivo. Se ofrecen productos inteligentes o con nuevas funcionalidades relacionadas con el mundo digital, como resultado se han desarrollado servicios relacionados con la información capturada, y que generan nuevas vías de ingresos.
Factor Humano	El personal en su conjunto tiene una formación adecuada en técnicas <i>lean</i> y capacidades digitales. La empresa promueve la actualización de estos conocimientos de forma permanente. Existen herramientas para la recolección de iniciativas por parte de los empleados, poniendo en valor e implantando las soluciones que mejor se adapten a la empresa.
Comercialización y Relación Cliente	Los canales de comunicación entre productor y cliente se utilizan de forma activa, tanto tradicionales como digitales, aprovechándose para vender y obtener información del cliente y conseguir anticiparse a sus necesidades. El cliente toma parte del diseño del producto, ideando las especificaciones más importantes del mismo.

Tabla 5.8. Situación empresa líder (Fuente: Elaboración propia).



5.5.- Acciones lean digital industria 4.0

La definición de la situación cualitativa esperada en cada nivel **LDI 4.0** no encaja completamente con la mayor parte de las empresas. El nivel de madurez de cada una de las dimensiones y palancas puede no ser homogéneo, usualmente no lo es, debido a que las inversiones realizadas están directamente relacionadas con la expectativa de retorno de estas. Por tanto, las empresas invierten en mejoras en aquellas dimensiones que tienen un impacto mayor o más directo en sus beneficios.

Por tanto, entra en juego una nueva variable que se debe considerar al realizar cualquier tipo de análisis: los *factores clave de competitividad de cada empresa*. Por ejemplo, si la clave de la competitividad es el coste del producto, es razonable que los esfuerzos se centren en mejorar la eficiencia productiva más que en el desarrollo de productos inteligentes. Y en esta situación no cabría esperar que las cinco dimensiones del modelo avancen en paralelo y, por tanto, alcancen al mismo tiempo los niveles mínimos requeridos para cambiar de nivel. Podría ser una empresa **Avanzada** en tres áreas, pero **Competitiva** en las otras dos.

Con estas consideraciones, se ha descartado en este modelo metodológico la opción de plantear tres planes de transformación para alcanzar gradualmente los tres niveles consecutivos. **Se ha optado por no segmentar los niveles de manera aislada**, sino considerar que es posible un avance continuo hacia el *lean digital industria 4.0* por dimensiones, Figura 5.5.

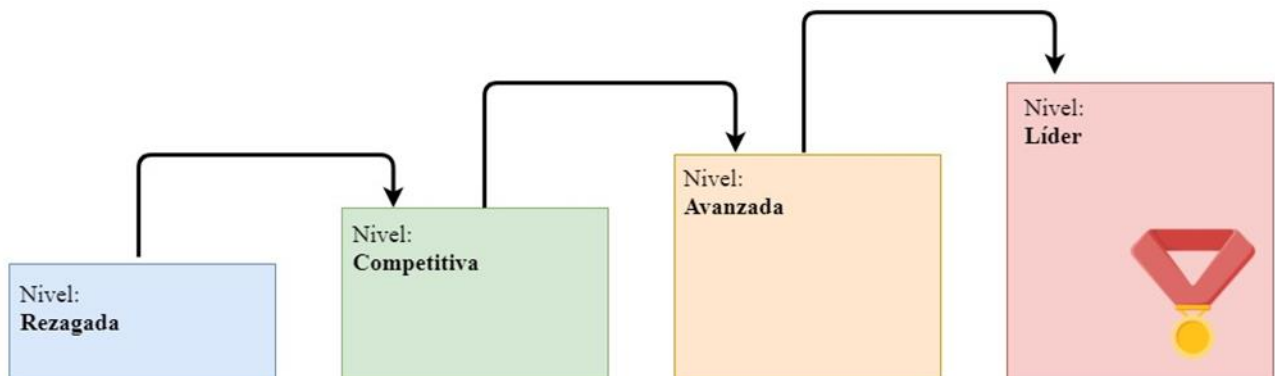


Figura 5.5. Avance hacia *lean digital industria 4.0* (Fuente: Elaboración propia).

Con este razonamiento, en la Tabla 5.9 se plantean una serie de acciones, divididas en dimensiones, que permiten a una empresa avanzar parcialmente en los niveles contemplados.



	Rezagada/ Competitiva	Competitiva/ Avanzada	Avanzada/ Líder
Estrategia de Negocio y Mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilizar a la empresa en oportunidades digitales. • Sensibilizar a la empresa en principios lean. • Definir objetivos de excelencia operativa. • Estudio de certificación de proveedores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formalizar la estrategia de formación. • Otorgar responsabilidades del proceso de transformación. • Establecer primeras relaciones para la conexión con proveedores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asignar partida de presupuesto al proceso de transformación. • Establecer mecanismos de análisis y revisión de estrategia (PDCA). • Revisar el modelo de negocio (aporte de valor). • Conexión con proveedores.
Operaciones y Procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar o reducir procesos sin valor añadido. • Automatizar procesos de mayor valor añadido. • Estandarizar procesos. • Otorgar funciones de mantenimiento a los operarios. • Registrar mantenimiento correctivo. Desarrollar mantenimiento preventivo en proceso clave. 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatizar los procesos productivos principales. • Optimizar el flujo de materiales y personas. • Producción <i>Pull</i>. • Desarrollar sistema integral de mantenimiento preventivo. • Desarrollar sistema de comunicación entre procesos consecutivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatizar procesos de manipulación y transporte. • Sistematizar y automatizar mantenimiento preventivo. Explorar predictivo en procesos clave. • Reducción almacenamiento. • Adopción políticas JIT.
Productos y Servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar vigilancia tecnológica y competitiva con herramientas de uso gratuito. • Eliminar características o funciones que no aportan valor añadido al cliente. • Realizar sesiones informativas sobre productos inteligentes y servicios asociados a productos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistematizar las acciones de innovación (Vigilancia, Ideas, Proyectos). • Desarrollar algún prototipo de producto inteligente y/o servicio asociado a producto. • Utilización de herramientas de impresión 3D. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar diferentes actores del sistema de I+D en la generación de proyectos. • Identificar oportunidades de negocio gracias a la digitalización. • Desarrollar productos/servicios inteligentes. • Reducir el tiempo de llegada al mercado de nuevos productos.



Factor Humano	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar necesidades formativas y establecer plan formativo. • Evaluar los puestos de trabajo. • Evaluar las condiciones de ergonomía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar las tareas. • Otorgar estándares de trabajo. • Realización de reuniones de equipo periódicas. • Reducir el número de tareas sin valor añadido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsar la promoción interna. • Aumentar los niveles de seguridad. • Otorgar responsabilidades de calidad por puesto de trabajo.
Comercialización y Relación Cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer vías de comunicación con los clientes. • Diseñar mecanismos para el control de la satisfacción con el producto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer servicios adicionales. • Desarrollar sistema de información de clientes y usuarios finales. • Implementación de herramientas digitales de protección de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar herramientas de análisis de información. • Utilizar servicios adicionales para la mejora del producto. • Establecer colaboraciones para el diseño de productos. • Utilización de la información con fines predictivos. • Controles y protección de dispositivos.

Tabla 5.9. Acciones a acometer, transformación LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).

5.6.- Indicadores lean digital industria 4.0

Los indicadores, KPI's (*key performance indicator*), son elementos clave en cualquier proceso de una empresa y más aún en un proceso de transformación para la mejora de la excelencia operativa.

Lo que no se mide, no mejora y, en la industria, lo que no mejora, empeora. Es importante no dar por terminado un proceso de mejora en el área productiva sin haber creado antes un indicador que mida su rendimiento, porque sin medición no hay mejora. Los indicadores deben ser sencillos de entender y facilitadores de medidas concretas.

En la siguiente, Tabla 5.10, se definen los indicadores utilizados en la metodología *lean digital industria 4.0*. Se han estructurado en función a las dimensiones definidas en el diagnóstico.



Dimensión	Nombre	Definición	Fórmula
Estrategia de Negocio y Mercado	Conexión Proveedores	Proveedores con acceso al sistema de planificación y control.	$N.^\circ \text{ Proveedores conexicionados}^* / N.^\circ \text{ Proveedores}$
	Entregas <i>Just in Time</i>	Porcentaje de entregas justo a tiempo realizadas por los proveedores de la empresa.	$N.^\circ \text{ Entregas JIT} / N.^\circ \text{ Entregas}$
Procesos y Operaciones	Eficiencia Global de los Equipos (OEE)	Productividad de las máquinas: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad.	$OEE [\%] = (\text{Piezas buenas}^* \text{Tiempo de ciclo ideal}) / (\text{Tiempo planificado})$
	Procesos transformados	Número de procesos en estado de pre-implementación del concepto <i>lean digital industria 4.0</i> .	$N.^\circ \text{ Procesos estudiados} / N.^\circ \text{ Procesos}$
	Lead Time Interno (DTD)	Tiempo transcurrido desde la descarga de la materia prima en la planta hasta el embarque de productos terminados para su envío	$DTD = \text{Tiempo de producción} + \text{Tiempo de inventariado} + \text{Tiempo de manipulación}$
	Tiempos de espera internos	Porcentaje de partes entregadas a tiempo en puesto de trabajo.	$\text{Tiempo de espera} / \text{Tiempo de producción}$
	Conexión Procesos	Número de procesos integrados en la transformación, capaces de comunicar información a través de sistemas <i>cloud</i> .	$N.^\circ \text{ Procesos conectados}^* / N.^\circ \text{ Procesos}$
	Reducción almacenamiento	Nivel de inventario medio.	Nivel de inventario medio



Productos y Servicios	Tiempo de diseño de productos	Tiempo de entrega (<i>Lead Time</i>) del desarrollo de un nuevo producto.	Plazo de tiempo desde el diseño al testeado del producto
	Diseño colaborativo	Productos que se diseñan utilizando plataformas colaborativas.	N.º Productos Colaborativos*/ N.º de Productos
	Calidad	Ratio de reprocesado.	N.º Productos válidos a la primera*/ N.º Total de productos
Factor Humano	Formación <i>lean</i>	Porcentaje de trabajadores que conocen conceptos <i>lean</i> .	N.º Trabajadores formados/ N.º Trabajadores
	Formación	Cantidad de horas de entrenamiento por empleado/año.	N.º de horas de formación
	Polivalencia	Grado de polivalencia de los operarios en planta.	N.º Trabajadores Polivalentes*/ N.º de trabajadores
	Participación	Número de sugerencias realizadas por empleado que se implantan al año.	N.º Sugerencias Aceptadas/ N.º Sugerencias
Comercialización y Relación Cliente	Acercamiento al cliente	Número de productos analizados con los clientes.	N.º Productos analizados/ N.º productos Catálogo
	Comercialización digital	Productos vendidos a través de canales digitales.	N.º Productos comercio on-line*/ N.º Productos vendidos

Tabla 5.10. Indicadores LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).

A continuación, se definen algunos de los términos utilizados en las fórmulas:

- **N.º Proveedores conexiados:** proveedores con información directa acerca del rendimiento productivo de la planta y alineados con las necesidades de entregas a tiempo.



- **N.º Procesos conectados:** procesos productivos con todos sus equipos conectados, capaces de trabajar coordinadamente y con cargas de trabajo equitativas.
- **N.º Productos Colaborativos:** productos diseñados a partir del consenso de los diferentes departamentos involucrados en su puesta en el mercado, así como, la opinión de los usuarios finales.
- **N.º Productos válidos a la primera:** producto final adecuado a los parámetros de calidad exigidos sin necesidad de realizar reprocesados.
- **N.º Trabajadores Polivalentes:** trabajadores capacitados para rotar el puesto de trabajo.
- **N.º Productos Comercio Online:** productos comercializados a través de medios digitales.

5.7.- Conclusiones

Las herramientas utilizadas en esta metodología recogen los dos conceptos de forma integrada, con el fin de potenciar las sinergias de su utilización conjunta y evitando las barreras de su implantación. El modelo enfoca la transformación de forma flexible y adaptable a las diferentes características de las empresas industriales.

Una vez definidas las herramientas del modelo metodológico *lean digital industria 4.0*, en el siguiente capítulo se describe el proceso de diagnóstico y los siguientes pasos a acometer en el desarrollo de la metodología, para conseguir la transformación óptima de la empresa estudiada.



6. Proceso de diagnóstico.

En este capítulo se concretan las actividades a desarrollar dentro del proceso de diagnóstico de la metodología. Al mismo tiempo se sientan las bases para la prestación de un servicio completo hacia la transformación *lean digital industria 4.0*, añadiendo las fases e hitos del desarrollo de un plan de transformación y seguimiento de este. Cada una de las fases se divide en hitos y en ellos se especifica:

- Objetivos.
- Tareas.
- Entregables de la actividad.

6.1.- Diagnóstico de la situación actual

El primer paso del proyecto es la de identificación del punto de partida, nivel de madurez *lean digital industria 4.0* de la empresa solicitante del servicio, Figura 6.1. La herramienta utilizada a este respecto ha sido descrita en el capítulo 5 de este documento.

Esta fase tiene gran importancia para conseguir desarrollar un proceso de transformación efectivo, ya que, sirve para observar los principales puntos de mejora. La información recogida en el informe, además de evaluar el estado actual de la empresa, permite identificar la priorización otorgada por la empresa a cada una de las dimensiones, centrándose así los esfuerzos en optimizar aquellas áreas de mayor relevancia.

Otro medio utilizado para conocer a la empresa solicitante del servicio y así poder focalizar los esfuerzos en las áreas de mayor competitividad, es la concertación de entrevistas con los responsables de los diferentes departamentos. Recabando las necesidades identificadas internamente y al mismo tiempo el grado de compromiso de los responsables más cercanos al área productiva. La metodología *lean* enfatiza en la importancia del compromiso de los dirigentes y responsables de las diferentes áreas de la empresa para que se puedan producir cambios estructurales en el funcionamiento interno.

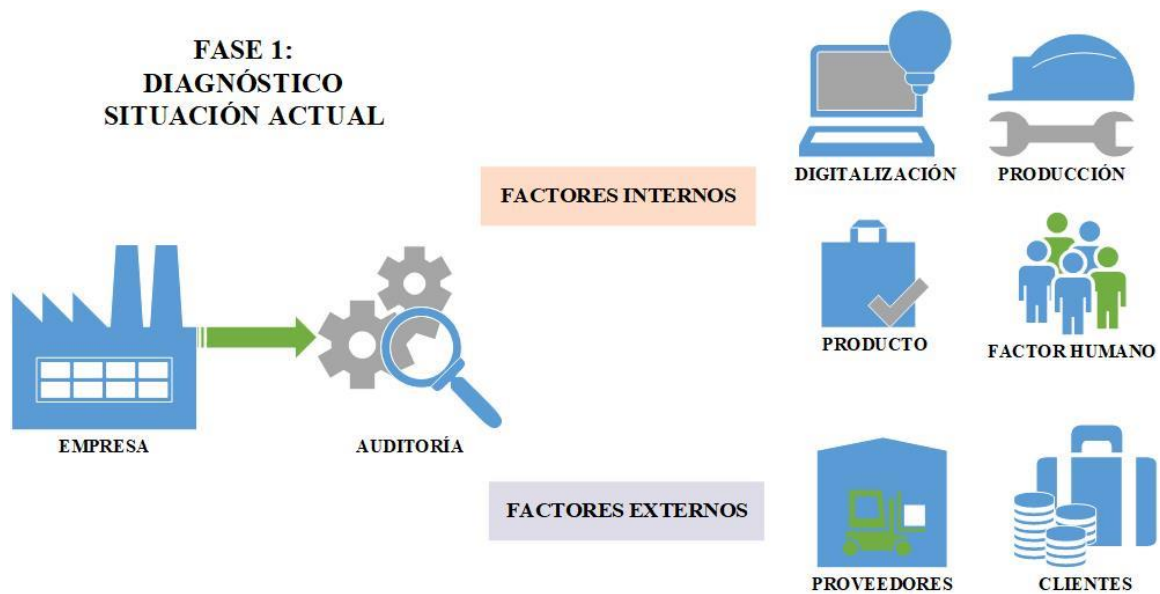


Figura 6.1. Evaluación situación actual (Fuente: Elaboración propia).

6.1.1.- Análisis interno/externo

El primer hito del proceso de diagnóstico aborda la realización de un análisis de las partes implicadas interna y externamente en el negocio, Tabla 6.1. Para ello se realizan visitas a la planta industrial con el fin de recoger la información necesaria.

La observación del funcionamiento de la empresa es un aspecto de vital importancia, siendo además uno de los principios de la metodología *lean*. Para conseguir un conocimiento claro y exhaustivo del proceso productivo y los problemas a los que se enfrenta la empresa estudiada hay que observar su funcionamiento *in situ*. Actuando de esta forma se evitan sesgos a la hora de recabar información, permitiendo obtener un conocimiento más cercano de la situación real de la empresa. Otro beneficio es el de abrir la posibilidad a observar las deficiencias de primera mano, facilitando su comprensión y el análisis e identificación del origen de los problemas.



FASE:	Diagnóstico de la situación actual
Hito:	Análisis interno/externo
Objetivos:	<p>El objetivo es el análisis de la situación actual de la empresa, identificando debilidades y fortalezas (Nivel interno), así como, amenazas y oportunidades (Nivel externo).</p> <p>El análisis se realiza de forma alineada con las dimensiones del diagnóstico.</p>
Tareas:	<p>Durante esta actividad, es preciso alcanzar un nivel de conocimiento alto de las áreas clave del funcionamiento de la empresa al igual que del entorno actual y futuro que la rodea.</p> <p>A través de este conocimiento se podrá discernir las áreas con un mayor potencial de mejora y aquellas palancas del cambio que se encuentran infrautilizadas.</p> <p>Esta tarea permite responder a la siguiente pregunta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>¿En qué áreas de la empresa se deben aplicar soluciones lean digital industria 4.0?</i> <p>Además, será el punto de inicio para la identificación de soluciones lean digital industria 4.0 que potencien las fortalezas y oportunidades y reduzcan o eliminen debilidades y amenazas en la actividad actual y futura de la empresa.</p>
Entregable:	Diagnóstico y potencial de mejora.

Tabla 6.1. Análisis interno/externo (Fuente: Elaboración propia).



6.1.2.- Balance y formulación estratégica

El segundo hito se utiliza para consensuar y planificar el alcance de la transformación, Figura 6.2.

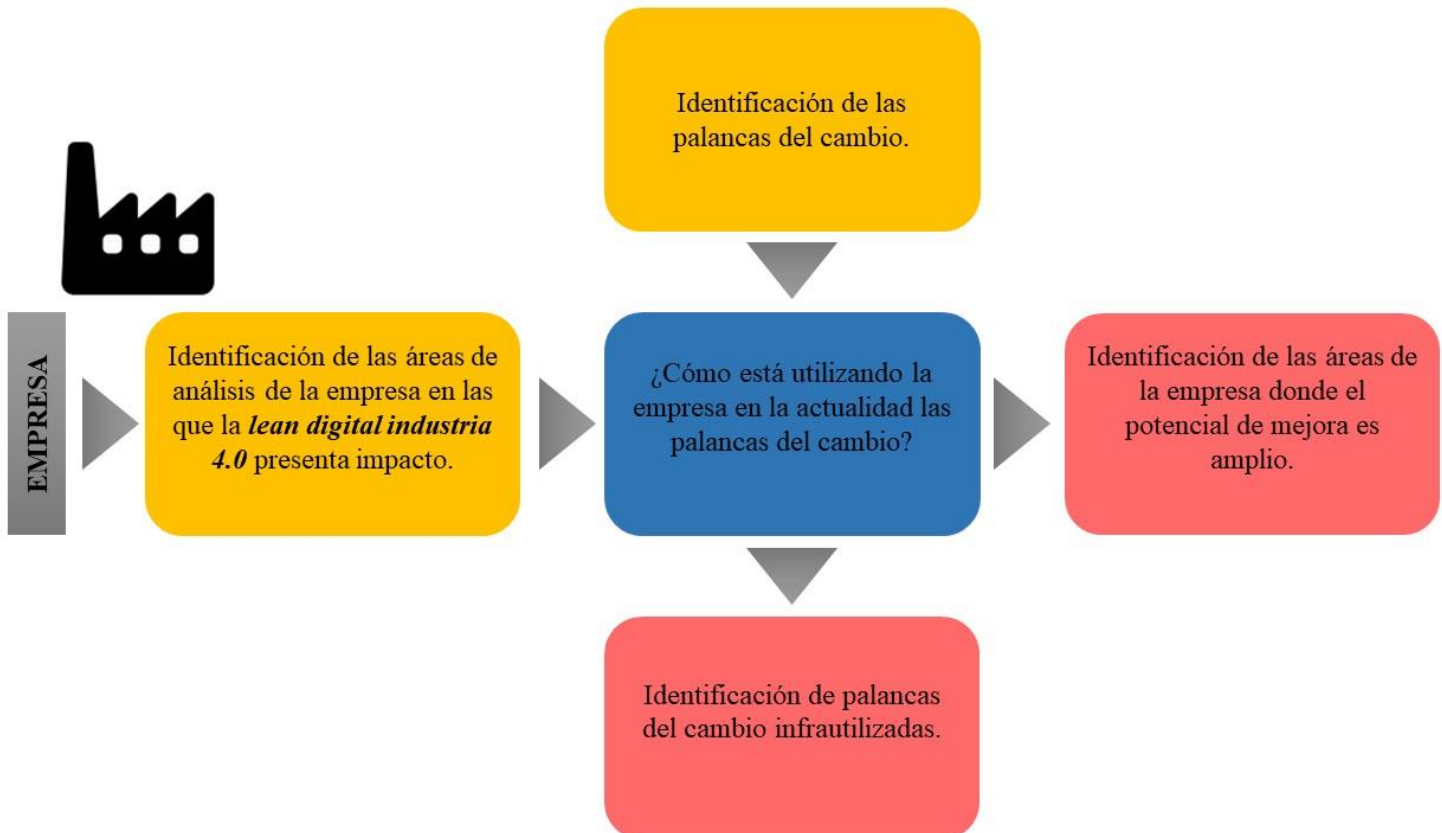


Figura 6.2. Balance del diagnóstico (Fuente: Elaboración propia).

En la siguiente Tabla 6.2, se explican los objetivos, tareas y entregables de este hito.

FASE:	Diagnóstico de la situación actual
Hito:	Balance y formulación estratégica
Objetivos:	<p>El objetivo es la realización de una integración de los análisis interno y externo, de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (Análisis DAFO).</p> <p>Definición de objetivos estratégicos y operativos.</p> <p>Reunión de presentación de los resultados de la fase al Comité de Dirección de la empresa.</p>



<p>Tareas:</p> <p>En esta última actividad, se lleva a cabo la integración de las conclusiones del diagnóstico en el que se describe con detalle la situación actual, y su grado de madurez <i>lean digital industria 4.0</i>, así como el nivel de relación con el entorno y las oportunidades identificadas.</p> <p>En el informe correspondiente se proyecta una visión integrada de la situación de la empresa con una perspectiva estratégica y operativa. Enfatizando en aquellos aspectos en los que se han observado mayor potencial de mejora.</p> <p>En la reunión que se realiza con los máximos dirigentes y responsables de la transformación de la empresa se ha de responder a la siguiente pregunta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>¿Por qué se deben implantar soluciones lean digital industria 4.0 en la empresa?</i> <p>El objetivo de dicha reunión será validar las conclusiones del informe, razonar el modelo de evaluación, exponer las principales conclusiones extraídas, apuntar a los principales focos de mejora y facilitar que la empresa priorice las oportunidades.</p>
<p>Entregable: Diagnóstico y potencial de mejora.</p>

Tabla 6.2. Balance y formulación estratégica (Fuente: Elaboración propia).

En el [Anexo II. Descripción de entregables](#), se puede observar la estructura de estos documentos, por otro lado, en el [Anexo III. Ejemplo de informe de diagnóstico](#), se ha realizado una simulación de un proceso de diagnóstico a una empresa industrial realizado todas las tareas de este.



6.2.- Servicio lean digital industria 4.0

La realización de un servicio completo de transformación *lean digital industria 4.0* se completa con la elaboración de un plan de transformación y el seguimiento y evaluación de este. A continuación, se describe cada una de las fases en las que se divide el servicio, Figura 6.3.



Figura 6.3. Fases hoja de ruta *lean digital industria 4.0* (Fuente: Elaboración propia).

6.2.1.- Definición del plan lean digital industria 4.0

En la fase de elaboración del plan *lean digital industria 4.0* se definen las soluciones ideadas para la potenciación de aquellas palancas del cambio infrautilizadas, y al mismo tiempo, reducir o eliminar aquellas acciones que perjudican o lastran el proceso de cambio.

- **Cuantificación y priorización de oportunidades**

El siguiente hito, Tabla 6.3, trata la elaboración de un listado de oportunidades de mejora en el ámbito del *lean digital industria 4.0*, estas mejoras se estructuran en función de las dimensiones y niveles identificados.



También se lleva a cabo una priorización, por medio de *métodos de decisión multicriterio*, de las soluciones en función de las características del proyecto de implantación y los requisitos de la empresa que recibe el servicio.

FASE:	Definición del plan <i>lean digital industria 4.0</i>
Hito:	Cuantificación y priorización de oportunidades
Objetivos:	<p>El objetivo es la elaboración de un listado de oportunidades de mejora en el ámbito de LDI 4.0 para cada objetivo estratégico, y propuesta de soluciones.</p> <p>Evaluar y priorizar cada oportunidad de mejora con los responsables de la empresa mediante entrevistas y la utilización métodos de decisión multicriterio.</p>
Tareas:	<p>Tras la reunión de presentación del diagnóstico a la empresa, en la cual se habrán validado y priorizado las oportunidades de transformación detectadas, se diseñará un plan.</p> <p>Este deberá tomar como base los resultados de las fases previas, así como la respuesta que la empresa haya dado a la priorización de las oportunidades de transformación detectadas. Esta decisión se plasmará en el documento de Plan de transformación <i>lean digital industria 4.0</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué soluciones pueden ser implantadas?
Entregable:	Plan de transformación <i>lean digital industria 4.0</i> .

Tabla 6.3. Cuantificación y priorización de oportunidades (Fuente: Elaboración propia).

- **Definición actuaciones del plan**

Elaboración de un plan que contemple la relación de oportunidades y acciones detectadas con la siguiente información, Tabla 6.4:

FASE:	Definición del plan <i>lean digital industria 4.0</i>
Hito:	Definición actuaciones del plan



Objetivos:	<p>Elaboración de un plan que contemple la relación de oportunidades y acciones detectadas.</p> <p>Presentación de las líneas generales del plan de transformación lean digital industria 4.0.</p>
Tareas:	<p>En el plan de transformación se definen los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objetivos de la implantación. • Criticidad para la empresa. • Secuencia de acciones a llevar a cabo para su puesta en marcha. • Áreas de la empresa implicadas en su gestión. • Resultados previstos de la implantación. • Riesgos identificados en la ejecución. • Indicadores clave de resultados. <p>Cada acción se define con un nivel adecuado de detalle, de forma consistente y adecuada, tanto para lograr su efectiva implantación como para que sea abordable por la empresa, esto es, que el alcance de cada acción y los recursos necesarios para su puesta en marcha estén adaptados a la realidad de la empresa.</p> <p>Una vez elaborado el informe se convoca una reunión con los responsables de la empresa para la presentación del plan de transformación. Esta tiene las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Validar y completar las conclusiones del plan. • Explicar con detalle las acciones propuestas, así como los beneficios e impactos que sufrirá la empresa durante y tras la implantación. • Exponer las principales tareas y necesidades para el impulso de la implantación, así como los recursos humanos y materiales necesarios. • Explicar la dinámica de trabajo.
Entregable:	Definición del plan <i>lean digital industria 4.0</i> .

Tabla 6.4. Definición actuaciones del plan (Fuente: Elaboración propia).



6.2.2.- Seguimiento y evaluación

La última fase del servicio consiste en el seguimiento y evaluación del impacto sufrido por la empresa en consecuencia a la implantación del plan de transformación *lean digital industria 4.0*.

- Seguimiento y evaluación indicadores (KPI's)

FASE:	Seguimiento y evaluación
Hito:	Seguimiento y evaluación indicadores (KPI's)
Objetivos:	Análisis periódico de los indicadores (KPI's) de evaluación y seguimiento del plan. Desarrollo de medidas correctoras ante desviaciones.
Tareas:	<p>La última tarea de la hoja de ruta consiste en establecer mecanismos de seguimiento de los diferentes indicadores <i>lean digital industria 4.0</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meta o nivel numérico que alcanzar y plazo de tiempo. • Fórmula de cálculo, frecuencia con la que se debe medir el indicador y fuentes de datos. • Quién actúa en caso de desviaciones que requieran acciones correctivas. • Qué hacer en caso de que el indicador no proporcione la información necesaria. • Representación gráfica del indicador. • Variables que influyen en su comportamiento y significado. • Valor del indicador en otras empresas de la competencia o mismo sector. <p>Promoviendo el desarrollo de acciones de mejora continua en base a los resultados obtenidos.</p>
Entregable:	Informe de seguimiento del plan.

Tabla 6.5. Seguimiento y evaluación indicadores (KPI's) (Fuente: Elaboración propia).



7. Conclusiones

Como punto de partida para la elaboración de este trabajo se ha tomado el proceso de cambio que está sufriendo el sector industrial en la actualidad. Estos cambios están debidos por un lado al aumento de la competitividad e incremento de poder de los clientes, y por otro lado a causa del desarrollo e implantación de las tecnologías habilitadoras que están transformando los entornos de trabajo hacia la digitalización.

Estas cuestiones ponen a las empresas del sector en un estado de incertidumbre y viéndose en la obligación de evolucionar sus procesos internos y externos con el objetivo de ser sostenibles. Las empresas españolas están en proceso de acometer esta evolución, pero se encuentran en un nivel inferior a las empresas de países de nuestro entorno.

Pero. ¿cuál es el mejor camino para conseguir un sector industrial, digital, más eficiente y con mayor capacidad de adaptación? La propuesta de este trabajo es la utilización de la metodología *lean digital industria 4.0*. Este modelo parte de la unión de los conceptos Industria 4.0 y *lean manufacturing*. Para su elaboración se han estudiado ambos conceptos por separado, gracias a lo cual se ha obtenido una perspectiva de los puntos más importantes y los beneficios que conllevan sus implantaciones por separado. Al mismo tiempo se han identificado las principales conexiones existentes, que ha permitido desarrollar un modelo integrado (**LDI 4.0**).

Dentro del análisis realizado a ambos modelos, se han estudiado metodologías de implantación reconocidas internacionalmente, lográndose trasladar los aspectos más relevantes al modelo *lean digital industria 4.0* desarrollado. También se ha constatado la falta de propuestas que integren los conceptos Industria 4.0 y *lean manufacturing* por parte de las empresas de consultoría estratégica más importantes internacionalmente, aunque algunas de ellas realizan menciones a los posibles beneficios de su interacción.

El siguiente paso ha consistido en realizar una revisión literaria acerca de la integración de estos conceptos y los resultados que se podían esperar de su implantación conjunta en el sector industrial. De esta forma, se ha puesto de manifiesto la alineación de ambos modelos y la gran potencialidad de su implantación conjunta con el objetivo de conseguir mejorar la excelencia productiva y evitar las barreras existentes para su implantación por separado. Con



este estudio, además se ha conseguido constatar la falta de investigaciones que propongan metodologías de implantación como la desarrollada en este trabajo, poniendo en valor su realización.

Como resultado del estudio realizado se han elaborado una serie de beneficios esperados en cuatro aspectos clave de las empresas. Estos beneficios están alineados con los principios *lean* y las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0:

- Proveedores.
- Clientes.
- Procesos.
- Factores humanos y control.

El siguiente paso ha consistido en la realización del modelo metodológico denominado *lean digital industria 4.0* en el que se define un **procedimiento de toma de datos, de diagnóstico y de elaboración de propuestas de acción de mejora**. Con este modelo se han conseguido definir una serie de herramientas que permiten acometer el estudio de las empresas solicitantes del servicio y realizar la propuesta de acciones de mejora que engloban los conceptos estudiados.

Por último, se ha fijado la estructura del servicio de transformación, en la que se pauta las fases e hitos necesarios para la adopción e implantación de dicha metodología.

En el [ANEXO IV](#) se ha realizado la validación del modelo metodológico aplicando la metodología de toma de datos a una empresa del sector industrial.

7.1.- Futuras Líneas de investigación

Algunas de las posibles futuras líneas de investigación que podrían ser acometidas a partir de este estudio podrían ser:

- i. Mejora funcional de la herramienta de diagnóstico, automatizando la recomendación de soluciones *lean digital industria 4.0* en función de las características de las empresas. Al mismo tiempo podría trasladarse de un desarrollo a través de un software ofimático (Excel), a una estructura más amigable con el usuario.



- ii. Validación del modelo en el tiempo, traslado de las soluciones ideadas a la realidad y seguimiento de los resultados obtenidos.
- iii. Estudiar el impacto antropológico de la implantación de soluciones tecnológicas en el puesto de trabajo y las consecuencias del proceso de transformación digital en los trabajadores.
- iv. Elaboración de metodologías de transformación digital adaptadas a sectores (agroalimentario, siderúrgico, textil, etc.).
- v. Estudio del impacto económico-financiero a medio y largo plazo de un proceso de transformación digital.



8. Planificación y Presupuesto

8.1.- Planificación de tareas

El reparto de tareas a lo largo del proyecto se ha dividido en tres fases dividiéndose estas en una serie de hitos, Tabla 8.1. A continuación, se describe cada una de estas fases:

Actividad	Descripción	Hito	Comienzo	Fin	Duración
Fase 1. Apertura	Búsqueda y estudio de documentación acerca de la temática del trabajo, introducción a conceptos. Información acerca de la situación de las empresas españolas. Composición de lugar.	Hito 1.1: Búsqueda información: <i>lean manufacturing</i> , técnicas <i>lean</i> , Industria 4.0, transformación digital, metodologías ágiles.	01/02/2019	20/03/2019	40h
		Hito 1.2: Estudio metodologías Industria 4.0 (<i>benchmarking</i>).	15/02/2019	08/03/2019	23h
		Hito 1.3: Búsqueda indicadores <i>lean manufacturing</i> e Industria 4.0.	04/03/2019	11/03/2019	10h
		Hito 1.4.1: Reunión con tutor empresa.	01/02/2019	01/02/2019	8h
		Hito 1.4.2: Reunión con tutor empresa.	08/02/2019	08/02/2019	
		Hito 1.4.3: Reunión con tutor universidad.	22/03/2019	22/03/2019	
		Fase 2. Desarrollo	Construcción de la memoria en base al resultado del estudio bibliográfico, al mismo	Hito 2.1: Revisión literaria conexión de conceptos. Asistencia a conferencias acerca de la metodología <i>lean</i> e Industria 4.0.	25/03/2019



	tiempo se revisa la literatura acerca de la conexión entre los conceptos estudiados.	Hito 2.2: Estudio hojas de ruta para la ejecución metodología de diagnóstico.	08/04/2019	19/04/2019	30h
		Hito 2.3: Elaboración de memoria.	11/04/2019	10/05/2019	40h
		Hito 2.4.1: Reunión tutor empresa.	29/03/2019	29/03/2019	10h
		Hito 2.4.2: Reunión tutor empresa.	02/05/2019	02/05/2019	
		Hito 2.4.3: Reunión tutor universidad.	07/05/2019	07/05/2019	
Fase Cierre 3.	Elaboración de la memoria final, revisión de resultados con tutores de la universidad y empresa. Cierre de memoria.	Hito 3.1: Revisión literaria.	08/05/2019	31/05/2019	10h
		Hito 3.2: Construcción de herramientas metodología.	13/05/2019	17/05/2019	14h
		Hito 3.3: Elaboración memoria.	09/05/2019	22/06/2019	125h
		Hito 3.4.1: Reunión con tutor empresa.	03/06/2019	03/06/2019	12h
		Hito 3.4.2: Reunión con tutor universidad.	11/06/2019	11/06/2019	
		Hito 3.4.3: Reunión con tutor empresa.	19/06/2019	19/06/2019	

Tabla 8.1. Resumen tareas TFM (Fuente: Elaboración propia).

En la siguiente Figura 8.1 se puede observar el diagrama de Gantt elaborado para el presente trabajo.



Figura 8.1. Diagrama de Gantt TFM (Fuente:Elaboración propia).



8.2.- Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se consideran todos los costes en los que se ha incurrido durante la elaboración del proyecto.

Al ser este trabajo fin de máster meramente de investigación teórica, los gastos en los que se ha incurrido comprenden, costes de personal y de software principalmente, aunque existen otras partidas menores como, por ejemplo, en impresiones y material de oficina.

8.2.1.- Cálculo de costes

El cálculo del presupuesto se desglosa en cuatro apartados: costes de equipos, costes de software, costes de personal y gastos en fungibles y otros.

- **Costes de equipos:**

En este apartado se incluyen la amortización de los equipos informáticos empleados durante la realización del proyecto.

Para su cálculo se tiene en consideración se coste de adquisición y mantenimiento anual, valorado en el 5% del coste de adquisición, y se ha establecido un periodo de amortización de 8 años. A partir de estos datos, y teniendo en cuenta que un año laboral consta de 1800 horas según el convenio de consultoría, se obtiene el precio hora de cada equipo. Con este dato y las horas de uso se extrae el coste de utilización del equipo durante el trabajo, de acuerdo a la ecuación 8.1:

$$C_1 = \frac{\frac{C_T}{T_A} + C_M}{1800} \times T$$

Siendo:

C_1 : Coste de equipo [€]

C_T : Coste de adquisición [€]

C_M : Coste de mantenimiento [€/año]

T_A : Tiempo de amortización [años]

T : Uso del equipo [h]



Equipo	C _T [€]	C _M [€/año]	T [h]	C ₁ [€]
ACER A315	350	5%	111	3.77
ASUS F555L	699	5%	240	16.31
Subtotal				20.08

Tabla 8.2. Costes de equipos hardware (Fuente: Elaboración propia).

- **Costes de software:**

En este apartado se incluyen la amortización de todo el software empleado durante la ejecución del proyecto.

Del mismo modo que en el caso anterior, se realiza el cálculo de la amortización del software teniendo en cuenta tanto su coste de adquisición como de mantenimiento anual. El tiempo de amortización del software se considera 8 años en el caso de *Windows 10* y *Microsoft Office*, sin embargo, para los softwares de *Illustrator* y *Power BI* el coste se ha calculado en base al periodo del proyecto, nuevamente se realiza el cálculo empleando la ecuación 8.1.

Software	C _T [€]	C _M [€/año]	T [h]	C ₂ [€]
Microsoft Windows 10	200	-	351	4.87
Microsoft Office 2019	539	-	329	12.31
Adobe Illustrator CC 2018	40	-	14	1.90
Microsoft Power BI	10	-	8	0.53
Subtotal				19.61

Tabla 8.3. Costes de software (Fuente: Elaboración propia).

- **Costes de personal:**

Los gastos de personal se calculan tomando como base que el servicio ha sido desarrollado por un trabajador de una empresa de consultoría. Teniendo en cuenta el coste hora para la empresa y multiplicando dicho valor por las horas empleadas en el desarrollo del trabajo.

Para el cálculo de esta partida se toma como referencia el salario bruto anual del trabajador 26000 €/año.



Sueldo bruto según convenio: 26000 euros anuales en 14 pagas, lo que equivale a 2166.67 euros en 12 pagas. (Convenio de empresas de consultoría y estudios de mercado y de la opinión pública).

Seguridad social a cargo de la empresa: la Seguridad Social a cargo de la empresa supone un 30,9% del sueldo bruto para contratos indefinidos. 669.5 €/mes en un sueldo bruto anual de 26000 €.

Ítem	C ₃ [€]
Sueldo bruto anual	26000
Coste bruto anual	34034.04
Coste hora bruto (1800h/año)	18.91
Coste proyecto (351h)	6637.41

Tabla 8.4. Costes de personal (Fuente: Elaboración propia).

- **Otros costes:**

El resto de los costes incurridos a lo largo de la ejecución del trabajo se incluyen en este apartado. Entre estos gastos se incluyen los gastos generales en servicios como la electricidad, el internet, el teléfono, etc.

Además, se incluye un aparato de fungibles en el que se incluye el coste de los productos consumibles como, por ejemplo, papel de impresión, fotocopias o material de oficina diverso.

Ítem	C ₄ [€]
Servicios varios	350
Fungibles	30
Subtotal	380

Tabla 8.5. Otros costes (Fuente: Elaboración propia).



- **Coste total del proyecto:**

El coste total del trabajo se obtiene sumando a los gastos recogidos anteriormente, el beneficio industrial, calculado como un 15% de los gastos generales. Por último, se incluye el IVA del 21%.

Ítem	Símbolo	Coste [€]
Coste de equipos	C_1	20.08
Coste de software	C_2	19.61
Coste de personal	C_3	6637.41
Otros costes	C_4	380
	Subtotal	7057.1
Beneficio industrial	15%	1058.56
	Total IVA excluido	8115.66
IVA	21%	1704.29
	Total IVA incluido	9819.95

Tabla 8.6. Coste total del TFM (Fuente: Elaboración propia).

Firmado: Alberto Pérez Peláez.



9. Referencias Bibliográficas

- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940.
- Fortuny-Santos, J., Arbós, L. C., Castellsagues, O. C., & Nadal, J. O. (2008). Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales. *Universia Business Review*, (20), 28-41.
- Fuentes, J. M., Jurado, P. J. M., Marín, J. M. M., & Cámara, S. B. (2012). El papel de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la búsqueda de la eficiencia: un análisis desde Lean Production y la integración electrónica de la cadena de suministro. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 15(3), 105-116.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- Küpper, D., Heidemann, A., Ströhle, D., Spindelndreier, D., & Knizek, C. (2017). When lean meets Industry 4.0: the next level of operational excellence. BCG. Hämtad från <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0.aspx>.
- Madariaga, F. (2013). *Lean manufacturing*. Bubok.
- Liker, J. K. (2005). *The toyota way*. Esensi.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Piszczalski, M. (2000). Lean vs. information systems. *Automotive Production*, 112(8), 26-26.
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0—a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21-26.
- Ries, E. (2011). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Crown Books.



-
- Rother, M. (2009). *Toyota kata*. McGraw-Hill Professional Publishing.
- Ruiz, F. J. A., Caro, E. M., & Navarro, J. G. C. (2018). La transformación digital de los sistemas lean a través de la industria 4.0: un caso práctico. *Economía industrial*, (409), 25-35.
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and industry 4.0—Twins, partners, or contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. *Journal of Service Science and Management*, 9(06), 485.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(3), 811-833.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of operations management*, 25(4), 785-805.
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *Ifac-Papersonline*, 48(3), 579-584.
- Womack, J. P., Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *Machine that changed the world*. Simon and Schuster.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148-1148.



10. Webgrafía

[1] Informe: La transformación digital de la industria española, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015 <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf> [Última visita: 14/02/2019]

[2] Informe: El reto de la transformación digital de la economía, Roland Berger y Siemens, 2016, https://w5.siemens.com/spain/web/es/estudioidigitalizacion/Documents/Estudio_Digitalizacion_Espana40_Siemens.pdf [Última visita: 02/05/2019]

[3] Artículo: Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias, 2019, <https://www.asturiasindustria40.es/> [Última visita: 20/02/2019]

[4] Informe: The fourth industrial revolution, EEF/ORACLE, 2016, <https://cloud.oracle.com/opc/saas/indmftg/reports/the-fourth-industrial-revolution-report.pdf> [Última visita: 20/02/2019]

[5] Informe: Digital Single Market, Comisión Europea, 2018, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> [Última visita: 20/02/2019]

[6] Informe: Desi 2018 country, Comisión Europea, 2018, ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2018-20/es-desi_2018-country-profile-lang_4AA8143E-CA74-9BD7-2FBD36EBA0B95CCB_52357.pdf [Última visita: 22/02/2019]

[7] Informe: Readiness for the future, Foro económico mundial, 2018, <https://www.weforum.org/reports/readiness-for-the-future-of-production-report-2018> [Última visita: 22/02/2019]

[8] Informe: Industry 4.0: Making your business more competitive, CGI, 2017, <https://www.cgi.com/en/media/white-paper/Industry-4-making-your-business-more-competitive> [Última visita: 01/03/2019]



[9] Artículo: Most Prestigious Consulting Firms, Vault, 2019, <http://www.vault.com/company-rankings/consulting/best-consulting-firms-prestige?pg=5> [Última visita: 25/03/2019]

[10] Artículo: The Most Prestigious Consulting Firms, Forbes, 2011, <https://www.forbes.com/sites/susanadams/2011/08/25/the-most-prestigious-consulting-firms/#76343c2d2896> [Última visita: 25/03/2019]

[11] Informe: Fundamentos del Lean Manufacturing, Escuela de Organización Industrial, 2013, <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20730/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion> [Última visita: 06/02/2019]

[12] Artículo: Lean Manufacturing. Los 8 grandes despilfarros (mudas) de tu empresa, LeanManufacturingHoy, 2017, <https://www.leanmanufacturinghoy.com/lean-manufacturing-los-8-grandes-despilfarros-mudas-de-tu-empresa/> [Última visita: 08/03/2019]

[13] HADA-Herramienta de autodiagnóstico digital avanzada, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2017, <https://hada.industriaconectada40.gob.es/hada/register> [Última visita: 10/04/2019]

[14] Industry 4.0 Readiness online self-check for businesses, IMPULS, 2015, <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en> [Última visita: 10/04/2019]

[15] Informe: When lean meets Industry 4.0: the next level of operational excellence, BCG, 2017, <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0.aspx> [Última visita: 12/04/2019]

[16] Artículo: Transforming the End-to-End Digital Journey, BCG, 2019, <https://www.bcg.com/capabilities/technology-digital/transforming-end-to-end-digital-journey.aspx> [Última visita: 12/04/2019]

[17] Artículo: Digital Acceleration Index, BCG, 2019, <https://www.bcg.com/capabilities/technology-digital/digital-acceleration-index.aspx> [Última visita: 14/04/2019]



[18] Informe: Blueprint Guide: Industry 4.0 Services, Accenture, 2017, https://www.accenture.com/t20180625T094010Z__w__/us-en/_acnmedia/PDF-52/Accenture-Industry-4-Excerpt-for-Accenture-Report.pdf [Última visita: 16/04/2019]

[19] Informe: Industry 4.0: Building the digital enterprise, PwC, 2016, <https://www.pwc.es/es/publicaciones/gestion-empresarial/assets/global-industry-digital-survey-2016.pdf> [Última visita: 12/04/2019]

[20] Artículo: Un plan realista para hacer realidad la “digital factory”, PwC, 2017, <https://ideas.pwc.es/archivos/20170630/un-plan-realista-para-hacer-realidad-la-digital-factory/> [Última visita: 12/04/2019]



ANEXO I. Metodologías de referencia

Industria 4.0

Industria Conectada (HADA)

El gobierno de España a través del ministerio de industria, comercio y turismo, dentro del marco de la iniciativa Industria Conectada 4.0, ha desarrollado la Herramienta de Autodiagnóstico Digital Avanzado (HADA). Este es un servicio de autodiagnóstico on-line¹³, a disposición de todas las empresas. Esta herramienta permite conocer cuál es el grado de madurez tecnológica de una empresa en las diversas partes de su cadena de valor, con la intención de impulsar la transformación digital.

Enfoque

Para evaluar el nivel de digitalización de una empresa se realiza un cuestionario, el mismo consta de un total de 68 preguntas, agrupadas en las cinco dimensiones y divididas en un total de 16 secciones, según el modelo de madurez digital en Industria 4.0.

El modelo se basa en el análisis de cinco dimensiones clave en la estrategia y operación de las empresas:

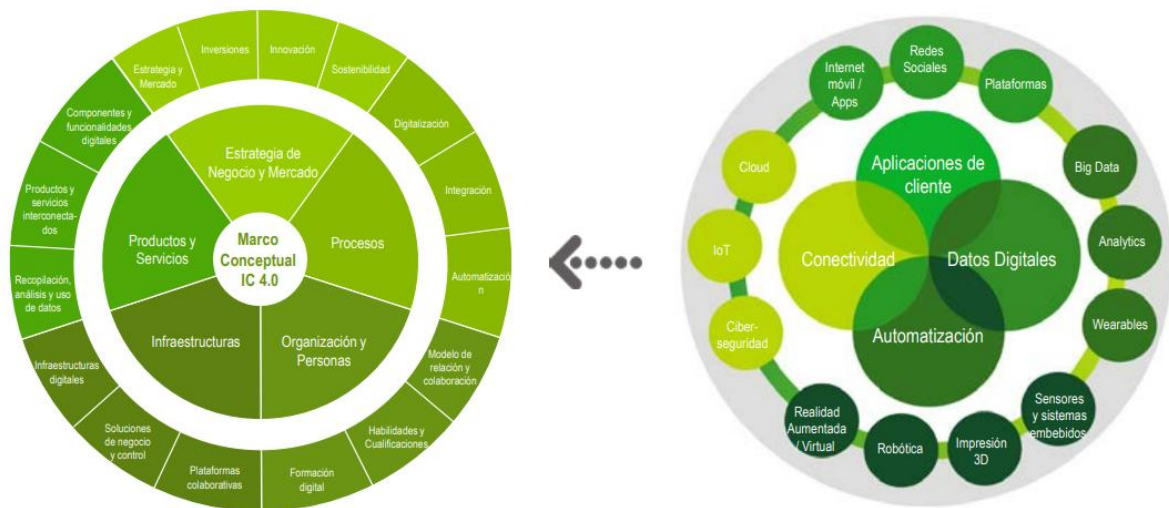
¹³ HADA-Herramienta de autodiagnóstico digital avanzada, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2017, <https://hada.industriaconectada40.gob.es/hada/register> [Última visita: 10/04/2019]



- **Estrategia y modelo de negocio:** Evalúa la capacidad de adaptación de la organización al entorno y al mercado.
- **Procesos:** Analiza las capacidades digitales del modelo operativo.
- **Organización y personas:** Identifica las capacidades de la organización y su modelo de relación con otros agentes.
- **Infraestructuras:** Análisis del nivel de implantación de infraestructuras digitales, soluciones de negocio y control y plataformas colaborativas.
- **Productos y servicios:** Evalúa el nivel de incorporación de tecnología a los productos y servicios existentes, así como su potencial de digitalización.

Dimensiones clave herramienta HADA (Fuente: Elaboración propia).

Además, para cada dimensión se identifican puntos clave para el impulso de las empresas hacia la transformación digital y la Industria 4.0.



Modelo de transformación digital HADA (Fuente: Industria Conectada¹³).

Niveles

Una vez realizado el cuestionario, la herramienta divide las empresas en seis niveles:



<p>Estático: Las empresas catalogadas en este nivel no cumplen ninguno de los requisitos de la Industria 4.0.</p>	<p>También se asigna a aquellas empresas que desconocen el concepto Industria 4.0 o es irrelevante para las mismas.</p>
<p>Consciente: Una empresa en este nivel está involucrada en la Industria 4.0 a través de iniciativas.</p>	<p>Utilizan sistemas de gestión en algunos de los procesos de producción.</p> <p>Integración de sistemas e intercambio de información limitados.</p>
<p>Competente: Una empresa en este nivel incorpora iniciativas de Industria 4.0 en su estrategia.</p>	<p>Realizan inversiones Industria 4.0 en varias áreas.</p> <p>Recogen algunos datos de forma automática, pero su explotación es limitada.</p> <p>Intercambio de información dentro de diferentes áreas de la empresa, y comenzando a integrar la información con proveedores y clientes.</p>
<p>Dinámico: Una empresa de este nivel ha definido una estrategia de transformación a la Industria 4.0.</p>	<p>Realizan inversiones en Industria 4.0 en múltiples áreas, y promueven la introducción de nuevas soluciones en Industria 4.0 a través de la gestión de la innovación.</p> <p>Los sistemas de producción están totalmente integrados con los sistemas de gestión, recogiendo la información de manera automática y en tiempo real.</p>
<p>Referente: Una empresa referente está utilizando una estrategia de Industria 4.0, realizando su seguimiento con indicadores adecuados.</p>	<p>Realizan inversiones en casi todas las áreas, y el proceso se apoya en la gestión de la innovación.</p> <p>Recogen a través de los sistemas de gestión grandes cantidades de datos, que utilizados para la mejora continua.</p> <p>Realizan intercambios de información tanto a nivel interno como externo.</p> <p>Utilizan soluciones de ciberseguridad en algún departamento.</p>



Realización de estudios para la automatización de procesos y de autocorrección.

Incorporación de funcionalidades tecnológicas en los productos que permiten la recopilación y análisis de datos durante su uso.

Desarrollo de servicios adicionales basados en el análisis de datos.

Líder: En este nivel las empresas han empezado la fase de implantación de la estrategia de Industria 4.0, realizando un seguimiento periódico del estado de la implantación de los proyectos, apoyado por las inversiones en todas las áreas de la empresa.

Implantación de un sistema de gestión de la innovación colaborativa a nivel interno y externo.

Introducción soluciones de ciberseguridad, y las soluciones en la nube ofrecen una arquitectura tecnológica flexible.

Utilización de piezas inteligentes que se guían de forma autónoma, así como procesos que reaccionan de manera autónoma.

Los productos cuentan con funcionalidades tecnológicas. Los datos recogidos en la fase de uso de los productos son utilizados para el desarrollo de nuevos productos y servicios.

Los servicios basados en datos representan una parte significativa de los ingresos.

Niveles de madurez digital herramienta HADA (Fuente: Elaboración propia).



Impuls

La fundación IMPULS de la federación de ingeniería alemana (VDMA) con la dirección de IW Consult y el Instituto de Gestión Industrial (FIR), han realizado la herramienta online de autodiagnóstico “Industry 4.0 Readiness”¹⁴.

Enfoque

La aplicación evalúa el nivel de adaptación de las empresas a las soluciones Industria 4.0, permitiendo conocer zonas de mejora. En este modelo hacia la Industria 4.0 se contemplan seis dimensiones claves:

-
- **Estrategia y organización:** Análisis de la estrategia y cultura corporativa Aspectos críticos para la satisfactoria implantación de soluciones Industria 4.0.
 - **Operaciones inteligentes:** Utilización de piezas inteligentes con capacidad de dirigir las fases de producción.
 - **Servicios basados en datos:** Utilización de los datos recopilados en la mejora de la satisfacción del cliente con el producto.
 - **Fábrica inteligente:** Evaluación de la planta industrial en cuanto al nivel de automatización del sistema productivo y la capacidad de realizar una producción distribuida.
 - **Productos inteligentes:** Nivel de digitalización de los productos. Incorporando en los mismos componentes TIC que ofrezcan nuevas funcionalidades avanzada.
 - **Empleados:** Análisis de aspectos relativos al personal empleado, como puede ser, nivel formativo y motivación en el proceso de transformación digital.
-

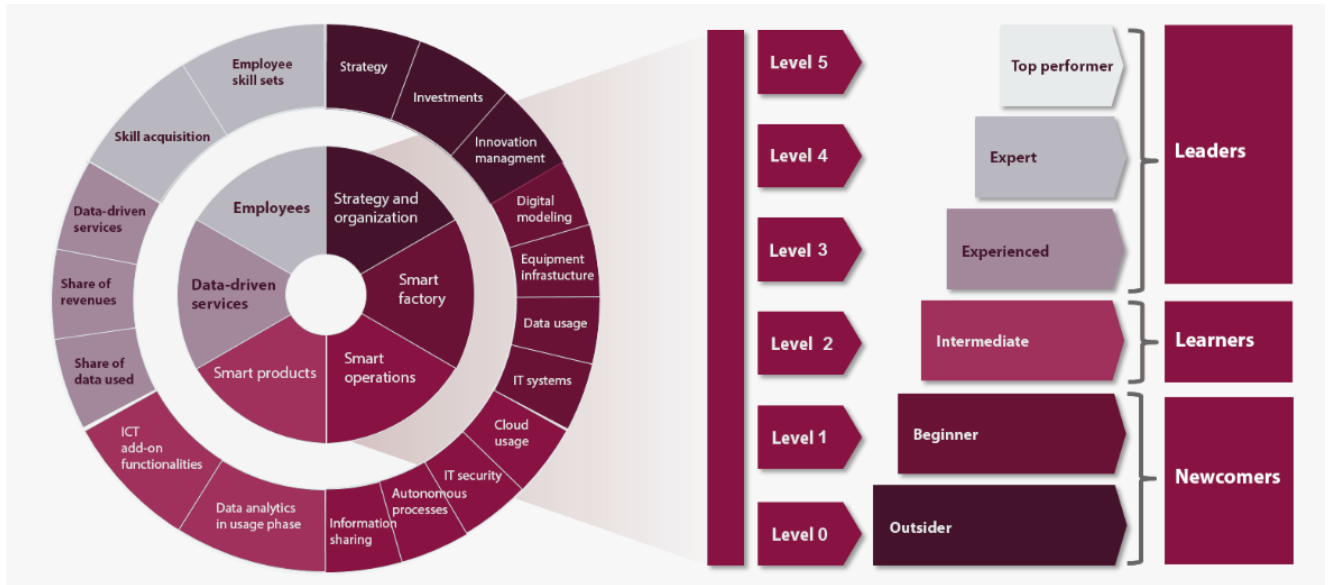
Dimensiones clave Impuls (Fuente: Elaboración propia).

¹⁴Industry 4.0 Readiness online self-check for businesses, IMPULS, 2015, <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en> [Última visita: 10/04/2019]



Niveles

A partir del análisis del grado de adaptación de las empresas a cada una de las dimensiones anteriormente descritas. Se dividen las mismas en seis niveles:



Dimensiones y Niveles (Fuente: IMPULS¹⁴).

Nivel 0. Empresas ajenas a la Industria 4.0, empresas que no han acometido ninguna iniciativa ni han estudiado las posibilidades ofrecidas por las soluciones Industria 4.0.

Nivel 3. Empresas experimentadas, empresas en las que se ha desarrollado una planificación estratégica de las necesidades tecnológicas y las fases que va a seguir la implantación.

Nivel 1. Empresas principiantes, se ubican en este nivel aquellas empresas que han incorporado alguna solución aislada.

Nivel 4. Empresas expertas, empresas en proceso de implantación de soluciones Industria 4.0, fijadas en la estrategia.

Nivel 2. Empresas intermedias, en esta categoría las empresas que han introducido en su estrategia de crecimiento iniciativas hacia la Industria 4.0.

Nivel 5. Empresas líderes en implantación, aquellas empresas que han culminado con éxito la implantación de soluciones hacia la Industria 4.0.

Niveles de madurez digital Impuls (Fuente: Elaboración propia).



BCG

Boston Consulting Group (BCG), firma de consultoría estratégica global, cuenta con más de 90 oficinas ubicadas en 50 países diferentes. En 2019 el ranking anteriormente citado, la sitúa en tercer lugar dentro de las firmas de consultoría más prestigiosas.

BCG explica el fenómeno de la Industria 4.0 como “*una transformación que hace posible recopilar y analizar datos en máquinas, permitiendo procesos más rápidos, más flexibles y más eficientes para producir bienes de mayor calidad a costes reducidos*”. Los beneficios que observa en esta transformación son: aumento de la productividad; fomento del crecimiento industrial; modificaciones en la economía y el empleo; también prevé cambios en la competitividad de las empresas,

Enfoque

La consultora define su enfoque de transformación digital como industrial, modular e iterativo, fijando el objetivo de encontrar las debilidades y buscar que necesidades no están siendo satisfechas, todo ello recopilando información in situ. A partir de este punto de partida se implementan las tecnologías digitales idóneas.

Para lograr la excelencia operativa en una planta industrial, BCG plantea estructurar el viaje hacia la Industria 4.0 uniendo las tecnologías habilitadoras al uso de técnicas *lean manufacturing*. La implementación conjunta de los dos conceptos es denominada como **Lean Industry 4.0**¹⁵, y estructuran la metodología hacia la Industria 4.0 en cinco fases¹⁶:

¹⁵Informe: When lean meets Industry 4.0: the next level of operational excellence, BCG, 2017, <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0.aspx> [Última visita: 12/04/2019]

¹⁶Artículo: Transforming the End-to-End Digital Journey, BCG, 2019, <https://www.bcg.com/capabilities/technology-digital/transforming-end-to-end-digital-journey.aspx> [Última visita: 12/04/2019]



Línea de base y plan.	<p>Puesta en conocimiento, dirigentes, de las posibilidades de mejora por medio habilitadores.</p> <p>Definición de objetivos esperados, por los dirigentes.</p> <p>Fijación alcance de la transformación.</p> <p>Recopilación de información acerca de la empresa.</p> <p>Identificación de puntos débiles y áreas de mejora.</p>
Idea y visión.	<p>Presentación prototipo de implantación.</p> <p>Previsión de impacto.</p> <p>Concienciación a los dirigentes.</p> <p>Revisión de resultados, comprobación de las oportunidades de mejora.</p> <p>Visualización de indicadores de rendimiento (cuantificación impacto de mejora).</p> <p>Priorización de tecnologías.</p>
Construir y definir un producto mínimo viable (MVP).	<p>Desarrollo producto mínimo viable.</p> <p>Implantación (MVP) en planta.</p> <p>Formación a través metodologías ágiles.</p> <p>Mejora iterativa, optimización de la solución.</p>
Industrializar	<p>Análisis de los resultados experimentación.</p> <p>Fijación solución objetivo.</p> <p>Planificación de capacitación e implantación de soluciones.</p> <p>Previsión de futuras mejoras.</p>
Habilitar y construir capacidades digitales sostenibles.	<p>Cuantificación y evaluación tecnologías de la información (IT).</p> <p>Análisis deficiencias.</p> <p>Planificación satisfacción necesidades.</p>

Fases metodología BCG (Fuente: Elaboración propia).



Niveles.

BCG también ha desarrollado el Índice de Aceleración Digital (DAI)¹⁷, con el objetivo de evaluar el nivel de madurez digital de las empresas, es decir, descubrir sus fortalezas y debilidades digitales. Esta evaluación ayuda a determinar si las capacidades digitales de una empresa son deficientes o están desequilibradas, y comparar su nivel de digitalización con respecto a sus competidores. Al mismo tiempo facilita el desarrollo de la hoja de ruta y la fijación de objetivos hacia la Industria 4.0. La herramienta clasifica las empresas en los siguientes cuatro niveles:

Nivel 1. Pasivo digital:	Desalineación estrategia de negocio e implantación tecnologías de información.
	Implantación de soluciones aisladas.
	Falta de plan específico para la digitalización.
Nivel 2. Alfabetización digital:	Consciencia de la necesidad digitalización.
	Definición hoja de ruta, a partir de ideas e iniciativas de los departamentos.
	Falta de visión conjunta en la planificación.
Nivel 3. Trabajador Digital:	Alineación estrategia de negocio e implantación tecnologías de información.
	Desarrollo de iniciativas de transformación digital con éxito.
	Promoción de tecnologías disruptivas.
Nivel 4. Líder Digital:	Integración de las dimensiones de la compañía en el proceso de digitalización.
	Nivel de implantación superior a los competidores del sector.
	Pensamiento en la compañía de lo digital como impulsor de valor.
	Definición de estrategia digital y hoja de ruta.

Niveles digitalización BCG (Fuente: Elaboración propia).

¹⁷Artículo: Digital Acceleration Index, BCG, 2019, <https://www.bcg.com/capabilities/technology-digital/digital-acceleration-index.aspx> [Última visita: 14/04/2019]



Accenture

Empresa multinacional dedicada a la prestación de servicios de consultoría estratégica, digital, tecnología y operaciones.

Accenture define la Industria 4.0 como la reinención digital de la industria, una combinación de tecnologías emergentes, conectadas e inteligentes que han sido desarrolladas para transformar digitalmente la industria.

Enfoque

El enfoque de esta consultora es meramente práctico se busca la utilización de las tecnologías habilitadoras para modificar los productos y servicios desde la fase de diseño e ingeniería hasta la fabricación y el soporte, aumentando la eficiencia operativa e impulsando el crecimiento de la empresa.

Fijan **tres dimensiones principales** en las que las tecnologías habilitadoras, toman parte en una empresa industrial:

- **Análisis:** habilitan la generación y análisis de datos recogidos en la línea de producción y su utilización en la gestión, mejora, optimización, eficiencia, productividad, calidad y flexibilidad de los procesos de fabricación. A la vez habilita la predicción de eventos y la planificación de las acciones de respuesta.
- **Visualización:** habilita la simulación y visualización de prototipos, máquinas, líneas de producción, plantas y productos terminados. Esta simulación se puede realizar antes o después de la producción y la visualización puede ser realizada en tiempo real. Estas capacidades mejoran la planificación, mejora y optimización de las líneas de producción, todo ello repercute en un aumento de la calidad del producto y en una producción flexible.
- **Control:** habilita el control y manejo de las actividades realizadas en la planta industrial. Realizándose en tiempo real con la utilización de datos e inteligencia artificial, disminuyendo la participación de los operarios al mínimo.



Niveles

La consultora ofrece servicios de diagnóstico digital, estos servicios se toman como punto de inicio para fijar una hoja de ruta hacia la transformación.

Con este diagnóstico se determina el nivel de preparación de la empresa a nivel digital, al mismo tiempo se identifican las áreas en las que se debe enfocar la estrategia. Por tanto, este un punto básico en la estrategia de transformación digital para esta compañía.

A partir de la experiencia en implantación y estudios realizados, la firma de consultoría fija cinco niveles de implantación de la Industria 4.0¹⁸:

Introducción de Componentes Inteligentes:	Implantación de sistemas de gestión en la cadena productiva.
	Capacidad de captación información del mundo físico.
	Toma de decisiones predictiva o adaptativa.
Máquinas Inteligentes:	Coordinación de componentes inteligentes.
	Control del proceso productivo.
	Automatización decisiones adaptativas o predictivas.
Fábrica Digital:	Trabajo coordinado entre máquinas inteligentes.
	Capacidad de trabajo autónomo por parte de sistemas de producción.
Fábricas Conectadas:	Conexión y coordinación de fábricas inteligentes.
	Control centralizado en un único punto.
Empresa Industria 4.0:	Capacidad de conexión con empresas del entorno: suministradores, clientes, diseñadores de producto, etc.
	Alineación de producción con factores de la cadena de suministro.

Metodología Industria 4.0 Accenture (Fuente: Elaboración propia).

¹⁸Informe: Blueprint Guide: Industry 4.0 Services, Accenture, 2017
https://www.accenture.com/t20180625T094010Z_w_us-en/acnmedia/PDF-52/Accenture-Industry-4-Excerpt-for-Accenture-Report.pdf [Última visita: 16/04/2019]



PwC

PricewaterhouseCoopers (PwC) es una firma de consultoría global, la segunda más grande del mundo, en el ranking de Vault.com está situada en el octavo puesto.

La característica que define la Industria 4.0 según la compañía es el aumento de la digitalización y conectividad de los productos, cadenas de valor y modelos de negocio. El objetivo de este proceso es obtener ventajas competitivas: incrementos en los ingresos, una mejor gestión de los recursos materiales o el aumento de la eficiencia de los procesos.

Enfoque

La metodología de PwC¹⁹ se centra en la:

- Integración vertical y horizontal de la digitalización de las cadenas de valor.
- Digitalización de los productos ofertados.
- Digitalización de los modelos de negocio y relaciones con los clientes.

La firma de consultoría estructura la metodología, 0, hacia la Industria 4.0 en seis fases²⁰:

¹⁹Informe: Industry 4.0: Building the digital enterprise, PwC, 2016 <https://www.pwc.es/es/publicaciones/gestion-empresarial/assets/global-industry-digital-survey-2016.pdf> [Última visita: 12/04/2019]

²⁰Artículo: Un plan realista para hacer realidad la “digital factory”, PwC, 2017 <https://ideas.pwc.es/archivos/20170630/un-plan-realista-para-hacer-realidad-la-digital-factory/> [Última visita: 12/04/2019]



Estructura metodología hacia la Industria 4.0 (Fuente: PwC¹⁹).

A continuación, se analiza cada una de las fases de la implantación.

Trazar una estrategia digital:	Evaluación nivel de madurez digital. Fijación estrategia de digitalización. Elección de las tecnologías habilitadoras.
Implantar proyectos ‘piloto’:	Implantación proyecto piloto. Optimización de soluciones. Impulso del cambio a mayor escala.
Fijación de objetivos:	Reconocimiento necesidades empresa. Desarrollo de nuevas capacidades.
Desarrollo de tecnologías de análisis de datos y conectividad:	Implantación sistemas confiables de transferencia de información. Inversión en sistemas de analítica de datos.
Importancia de personal cualificado:	Incentivación del cambio por parte de los dirigentes. Priorización de los proyectos de digitalización. Adecuación de personal con las exigencias de formación del puesto e implicación con el cambio.



Integración horizontal:	Integración sistema digitalizado de agentes de la cadena de suministro.
	Mejora en la eficiencia de la planificación de producción.

Metodología hacia la Industria 4.0 PwC (Fuente: Elaboración propia).

Niveles

PwC diagnostica el grado de transformación de las empresas, existen cuatro niveles de digitalización. Para calcular este nivel se utiliza una herramienta sencilla y rápida, se trata de un cuestionario online con 33 preguntas sobre las seis dimensiones de la empresa, existen pequeñas diferencias en las preguntas en función del sector de la empresa estudiada:

Nivel 1. Novato digital	Fase inicial de digitalización. Focalización en la integración interna de las soluciones. Falta de incorporación de soluciones digitales en los productos.
Nivel 2. Integrador vertical.	Disposición de catálogo de productos digitales. Utilización de la información para la creación de valor. Integración de la cadena de valor con el sistema de planificación de recursos.
Nivel 3. Colaborador horizontal.	Esfuerzos centrados en la colaboración e integración horizontal, incorporando: colaboradores, clientes, suministradores. Creación de redes cooperativas para aumentar la satisfacción de las necesidades del cliente.
Nivel 4. Campeón digital.	Nivel de integración vertical y horizontal alto. Focalización de esfuerzos en el desarrollo de nuevos y disruptivos modelos de negocio. Creación de catálogo de productos innovadores.

Niveles de adaptación Industria 4.0 PwC (Fuente: Elaboración propia).



ANEXO II. Herramienta de diagnóstico

La herramienta utilizada para la elaboración del diagnóstico ha sido el software de Microsoft Office Excel. Con este fin se ha creado un modelo de 93 preguntas por las que se rige el análisis de las empresas industriales, con ellas se cuantifica el nivel de adaptación de la empresa al concepto *lean digital industria 4.0*.

Palancas (Ponderación)	Requisito
Liderazgo (3)	La empresa es consciente de la necesidad de realizar cambios en su funcionamiento, para asegurar la sostenibilidad.
	La empresa no está satisfecha con los resultados obtenidos en la actualidad.
	La empresa estima que no se está aprovechando todo el potencial de la planta productiva.
	La empresa es conocedora de las dimensiones claves en su modelo de negocio.
Cercanía Industria 4.0 (1)	La empresa es conocedora de las posibilidades de mejora por medio de la implantación Industria 4.0.
	Los dirigentes afrontan el proceso de digitalización, como un proceso clave para su negocio.
	La empresa dispone de una estrategia para encaminarse hacia la Industria 4.0.
Compromiso (3)	La empresa dispone de una planificación económica financiera que contempla las inversiones necesarias en infraestructuras para la digitalización con los hitos relevantes para su seguimiento.
	La empresa ha elaborado un estudio en el que se redefine digitalmente el modelo de negocio, revisando su propuesta de valor y determinando nuevas estrategias para aumentar su eficiencia/eficacia.
	La empresa ha establecido unos objetivos a alcanzar en el proceso de digitalización.
	La empresa ha definido en su organigrama los perfiles encargados de la transformación
Cercanía <i>lean manufacturing</i> (1)	La empresa es conocedora de la metodología <i>lean manufacturing</i> .
	Los dirigentes son conscientes de los beneficios que pueden con llevar la implantación de técnicas <i>lean manufacturing</i> en su empresa.
	La empresa utiliza los principios <i>lean</i> , como método para mejorar la excelencia productiva.



Relación con el entorno (3)	<p>La empresa dispone de información acerca del funcionamiento de sus proveedores.</p> <p>Los clientes y proveedores comparten un plan de producción, existiendo una visibilidad a tiempo real de la demanda del consumidor final a lo largo de toda la cadena de valor y están sincronizados mediante un sistema <i>pull</i>.</p> <p>El grado de integración con clientes y proveedores estratégicos es total (compartiendo datos de sistemas en tiempo real, compartiendo equipos multidisciplinares, conocimiento, etc.) para diseñar conjuntamente procesos, desarrollo de patentes y analizar la experiencia de cliente final.</p> <p>La empresa realiza una vigilancia sistemática de las tendencias del mercado, llegada de nuevos productos y nuevas funcionalidades requeridas por los clientes.</p>
Gestión de operaciones (3)	<p>La empresa ha identificado alguno de los siguientes procesos como clave: Diseño de productos/servicios - Fabricación - Calidad - Logística y distribución - Relación con el cliente.</p> <p>La empresa es conocedora de la capacidad productiva de la planta industrial.</p> <p>La empresa ha fijado como objetivo estratégico la optimización de las operaciones y procesos</p> <p>La empresa ha identificado la cadena de valor de su proceso productivo.</p> <p>La empresa dispone de un sistema de gestión integral (ERP).</p> <p>La empresa ha realizado estudios de tiempos y de eficiencia productiva en su cadena de valor.</p>
Optimización (3)	<p>La empresa ha realizado estudios para la integración, reducción o eliminación de operaciones sin valor añadido.</p> <p>La empresa ha optimizado el flujo de materiales y productos en planta.</p> <p>La producción se rige por un sistema <i>pull</i>, en la que los niveles de producción se fijan de acuerdo a la demanda.</p> <p>El flujo de fabricación es continuo (unitario o pieza a pieza).</p> <p>La empresa realiza revisiones periódicas de la planificación de la producción</p> <p>La empresa realiza esfuerzos específicos para reducir los niveles de almacenamiento.</p>
Flexibilización (5)	<p>La empresa utiliza herramientas digitales para planificar/programar la producción.</p> <p>La empresa utiliza robots, bien autónomos o colaborativos, en los procesos clave.</p> <p>La empresa dispone de sistemas automatizados y/o robotizados que permiten la fabricación bajo demanda y de forma autónoma.</p>



	<p>La empresa analiza y utiliza toda la información disponible, para adaptar todos los procesos a las demandas del cliente y el mercado, anticipándose en lo posible a las mismas.</p>
	<p>La empresa utiliza herramientas automatizadas y versátiles que son capaces de aprovisionar al punto de uso materiales y componentes personalizados en función de la configuración individual de cada pedido.</p>
	<p>La empresa utiliza los denominados <i>e-Kanban</i>, como mecanismo de control y facilitador de la flexibilización.</p>
	<p>La empresa ha realizado estudios con el fin de eliminar aquellos aspectos innecesarios en los puestos de trabajo (herramientas, materiales residuales...).</p>
	<p>La empresa ha estandarizado los cambios de herramienta con el fin de reducir tiempos de preparación.</p>
Infraestructura digital (5)	<p>La empresa cuenta con herramientas para la gestión del mantenimiento de los equipos (GMAO).</p>
	<p>La empresa utiliza modelos de simulación para la modelización completa de la planta permitiendo diseñar e industrializar las operaciones para el diseño ágil de procesos, su distribución en planta y exportar el conocimiento (<i>Twin Factories</i>).</p>
	<p>La empresa dispone de tecnologías de computación en la nube (<i>cloud computing</i>), que ofrecen la capacidad de almacenamiento y procesamiento de la información con la eficiencia acorde a lo requerido por los procesos clave.</p>
	<p>La empresa dispone de indicadores de rendimiento en tiempo real para medir la eficiencia de la producción.</p>
	<p>La empresa utiliza tecnologías del Internet de las Cosas (<i>IoT</i>) para conectar entre sí los procesos clave para la empresa y así extraer información valiosa para los mismos o que permita la gestión de los procesos e interacción remota en tiempo adecuado.</p>
	<p>La empresa dispone de una solución MES, que permite gestionar y monitorizar los procesos productivos.</p>
	<p>La empresa cuenta con sensores industriales en sus procesos de producción.</p>
	<p>La empresa dispone de un sistema para la gestión de existencias y pedidos de almacén.</p>
Acciones de control (1)	<p>La empresa dispone de herramientas que garantizan y controlan el cumplimiento de los procesos subcontratados externamente.</p>
	<p>La empresa cuenta con herramientas que permiten anticipar desviaciones en las acciones planificadas</p>
	<p>La empresa ha desarrollado y planificado medidas de contingencia ante el incumplimiento o aparición de acciones imprevistas.</p>



	<p>La empresa ha dotado de <i>wearables</i> a los distintos elementos existentes en una planta de fabricación (personas, máquinas, utillajes, productos, etc.) para su interacción inteligente en tiempo real.</p> <p>La empresa promueve acciones hacia la mejora continua de las operaciones y procesos productivos.</p>
Innovación (3)	<p>El producto realizado por la empresa cuenta con características diferenciadoras con respecto a la competencia (especialización, calidad, precio, etc.).</p> <p>La empresa trabaja de forma colaborativa con el cliente u otros agentes colaboradores para el diseño de producto.</p> <p>La empresa apuesta por la fabricación de productos innovadores.</p> <p>La empresa ha fijado como objetivo ampliar la gama de productos o aumentar sus funcionalidades por medio de dispositivos digitales.</p> <p>La empresa ha incorporado la fabricación aditiva (impresión 3D) al proceso de diseño y fabricación, para mejorar la rapidez y flexibilidad, reduciendo los costes y aumentando las posibilidades de personalización de los productos.</p>
Calidad (3)	<p>Los productos fabricados cuentan con dispositivos digitales capaces de registrar los parámetros y condiciones de funcionamiento.</p> <p>La empresa utiliza de mecanismos que permitan hacer un seguimiento de la trazabilidad de sus productos, con el objetivo de analizar la raíz de defectos producidos en el trayecto al cliente.</p> <p>La empresa realiza inspecciones de calidad por operación.</p> <p>La empresa dispone de herramientas digitales para la detección de mermas en las calidades de los productos.</p> <p>La empresa cuenta con herramientas para registrar el número de productos defectuosos y realiza análisis de las causas de fallo.</p>
Diseño (3)	<p>La empresa cuenta con herramientas de diseño asistido por ordenador para la mejora del diseño de sus productos.</p> <p>La empresa cuenta con soluciones de realidad virtual para el diseño de producto.</p> <p>La empresa ha fijado como objetivo, mejorar la experiencia de los clientes, por la vía de personalizar y adaptar los productos/servicios a cada uno de ellos y de prestar una atención a medida.</p> <p>La empresa realiza estudios de validación del producto antes de su lanzamiento, por medio del prototipado de productos mínimos viables.</p> <p>La empresa cuenta con un departamento enfocado a la mejora de los productos, que cuenta con información sobre el funcionamiento de este y la opinión de los clientes.</p> <p>La empresa promueve la interacción y el trabajo de forma colaborativa entre el personal.</p>



Colaboración interna (1)	La empresa fomenta las reuniones en grupos multidisciplinares para la revisión del cumplimiento de objetivos y búsqueda de soluciones.
Formación (5)	<p>El personal de la empresa cuenta con cualificación suficiente para el desarrollo de su actividad en un entorno digital.</p> <p>El personal de línea utiliza estándares de operación y participa en la evolución de estos utilizando técnicas de análisis que permiten profundizar en el conocimiento del proceso.</p> <p>La empresa fomenta la formación de los trabajadores en el desarrollo de competencias digitales.</p> <p>La empresa incentiva la promoción interna de los empleados, desde operarios en planta a puestos con mayor responsabilidad operativa.</p> <p>La empresa realiza planes de formación en prevención de riesgos laborales.</p> <p>La empresa ha introducido tecnologías de realidad aumentada o virtual para facilitar la interacción de los empleados con activos de la empresa, que enriquezcan la experiencia y la hagan más directa y eficiente.</p> <p>La empresa cuenta con herramientas digitales que permiten la formación en puestos de trabajo.</p>
Medidas de participación (1)	<p>La empresa impulsa la elaboración de propuestas o sugerencias de mejora por parte de los operarios.</p> <p>La empresa cuenta con equipos multidisciplinares para la discusión e introducción al sistema productivo, de propuestas de mejora.</p>
Operación en planta (3)	<p>La empresa ha realizado estudios sobre la ergonomía en el puesto de trabajo.</p> <p>Los responsables de las áreas productivas realizan reuniones diarias con los operarios en planta, en las que se planifican los trabajos y se ofrece información acerca de la eficiencia del proceso, con el objetivo de promover acciones de mejora continua.</p> <p>Los operarios en planta cuentan con mecanismos para la parada de la línea de producción en caso de fallos.</p> <p>La empresa ha realizado estudios para la integración, reducción o eliminación de tareas sin valor añadido.</p> <p>La empresa ha estandarizado la metodología de trabajo en planta, ofreciendo pautas a los operarios para la elaboración de las tareas de forma óptima y sin riesgo.</p>
Relación Cliente (3)	<p>La empresa realiza tareas de seguimiento y análisis de la relación con los clientes.</p> <p>La empresa cuenta con canales de comunicación y marketing adecuados en función del mercado y cliente objetivo.</p> <p>La empresa dispone de herramientas de marketing digital.</p>



	La empresa ofrece servicios postventa adicionales, a través del aprovechamiento de la información recogida en el funcionamiento de los equipos.
Análisis de la información (5)	La empresa dispone de tecnología de conectividad para los sistemas de información y su relación con el negocio acorde con las necesidades detectadas.
	La empresa cuenta con tecnología de almacenamiento y procesamiento de datos estructurados y no estructurados para los sistemas de información y su relación con el negocio acorde con las necesidades detectadas (Análítica Avanzada y <i>Big Data</i>).
	La empresa dispone de tecnologías digitales que permiten obtener modelos predictivos y prescriptivos, como son, <i>Big Data</i> e Inteligencia Artificial, que permitan anticiparse a los cambios.
	La empresa dispone de tecnología de ciberseguridad, que asegure la confidencialidad, la integridad, la disponibilidad y la privacidad de la información.
	La empresa dispone de controles de seguridad adecuados para la protección de dispositivos <i>IoT</i> .
Puesta en valor (1)	La empresa dispone de mecanismos de control relacionados con la satisfacción del cliente.
	La empresa cuenta con herramientas de analítica avanzada que permitan predecir el comportamiento de los clientes.

Requisitos diagnóstico LDI 4.0 (Fuente: Elaboración propia).



ANEXO III. Descripción de Entregables

Informe de diagnóstico

Estado de situación del cliente, identificando sus puntos de mejora y su comparativa con el nivel óptimo en procesos de transformación *lean digital industria 4.0*. El informe de diagnóstico tendrá la siguiente estructura:

- Introducción.
- Dimensiones de análisis. Para cada una de las palancas que configuran el modelo de LDI 4.0 se recogerá la información relativa a: Palanca, situación y recomendación de mejora asociada en el caso de que fuera necesaria.
- Análisis DAFO.
- Conclusiones y propuesta de mejora.

Este documento será un documento vivo ya que podrá sufrir modificaciones y/o adecuaciones a lo largo de la ejecución de la consultoría a petición del equipo de transformación del cliente.

Informe plan de transformación

El plan de transformación *lean digital industria 4.0*, es un documento que recogerá los elementos claves para el desarrollo del proceso estratégico orientado al dato, la hoja de ruta con el conjunto priorizado del conjunto de actuaciones a desarrollar y las acciones a considerar para llevar a cabo una adecuada gestión del cambio. De este modo contendrá los siguientes contenidos:

- Tecnología.
- Casos de uso. En el mismo se evaluarán distintas alternativas o escenarios basados en hechos y aspectos específicos del cliente, acompañadas por un análisis comparativo, cualitativo y cuantitativo. Cada uno de ellos responderá a una estructura similar a:



-
- Identificación de la medida que contempla el caso de uso.
 - Descripción de la medida.
 - Objetivos de su implantación.
 - Acciones de implantación
 - Beneficios para el cliente.
 - Planificación (alcance, recursos, costes y plazos):
- Definición de una metodología de seguimiento y control para implementación de las actuaciones de la estrategia para conseguir los beneficios esperado.

Informe de seguimiento plan transformación

Informe de periodicidad trimestral emitido por el director de proyecto que proporcionará información sobre el progreso del plan de transformación digital. Recogerá su situación real de forma clara la situación a nivel global de la Oficina de Transformación Digital y sus actuaciones:

- El progreso conforme al plan de acción.
- Las incidencias y riesgos detectados.
- Las decisiones tomadas y las propuestas para la mitigación de las incidencias y riesgos.
- Una planificación de acciones para el siguiente periodo de seguimiento.
- Cambios o modificaciones en el alcance aflorados.



ANEXO IV. Ejemplo de informe de diagnóstico

A continuación, se recoge el contenido de un informe tipo dirigido a una empresa industrial real (cuyo nombre se ha modificado) con el objetivo de mostrar el alcance y detalle de cada uno de los apartados recogidos en el mismo.

Contexto de la empresa

Cosméticos MIES, creada en el año 1992, se enmarca en el sector industrial. Está situada en Valladolid, disponiendo de un centro de producción y un centro logístico en la provincia. Se dedica a la fabricación de productos cosméticos.

Su clientela se centra en consumidores finales, pero también distribuidores y franquiciados que hacen llegar sus productos tanto al mercado regional, nacional e internacional (principalmente Europa). Para hacerse una idea de la distribución geográfica de sus mercados, puede decirse que el porcentaje de facturación nacional (80%) y el 20 % del mercado exterior (mayoritariamente Europa).

Hasta este momento, **Cosméticos MIES** había considerado que estaba bien posicionada en el mercado, con la clientela fidelizada y con la competencia identificada y controlada. Basa ese posicionamiento en la diferenciación de la calidad y/o variedad de sus productos, así como del precio de venta al público con respecto a las empresas que compiten en sus mercados. A la vista de la irrupción de nueva competencia se ha agudizado la necesidad de diagnosticar la identificación de nuevos competidores, los mercados (geográficos-tipologías) en los que se compete, así como de las ventajas competitivas que presenta **Cosméticos MIES** sobre estas empresas.



Principales resultados de la fase de diagnóstico

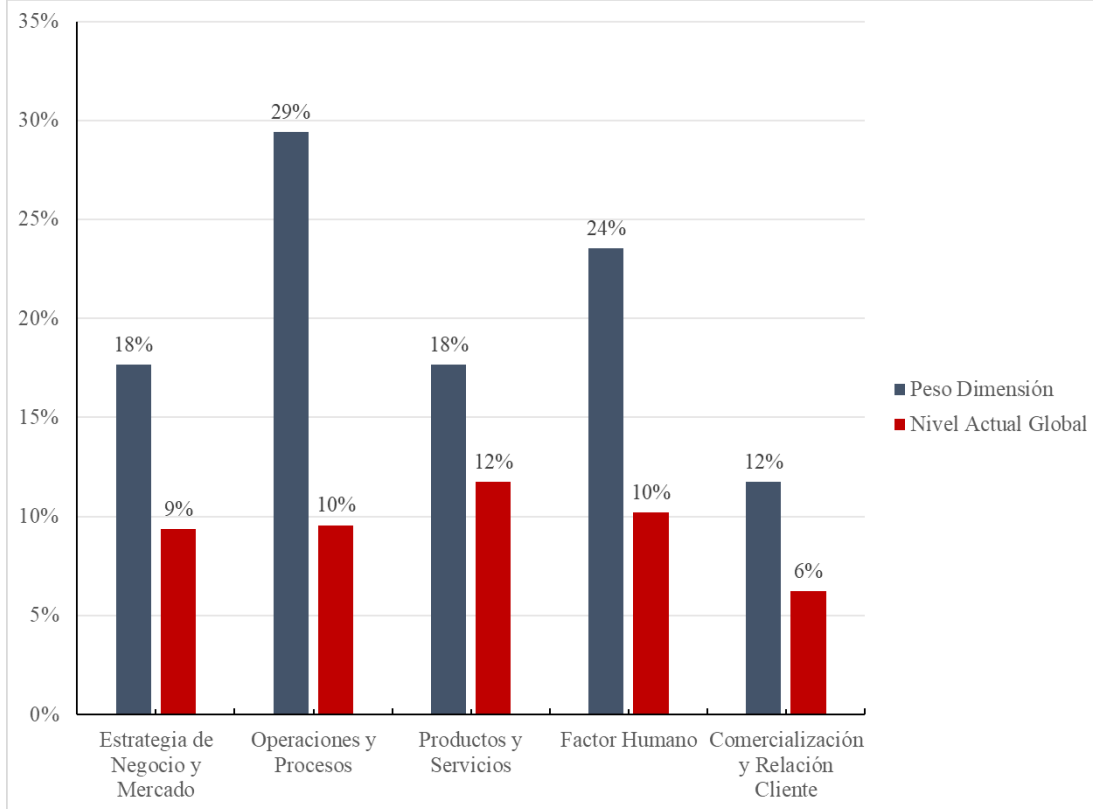
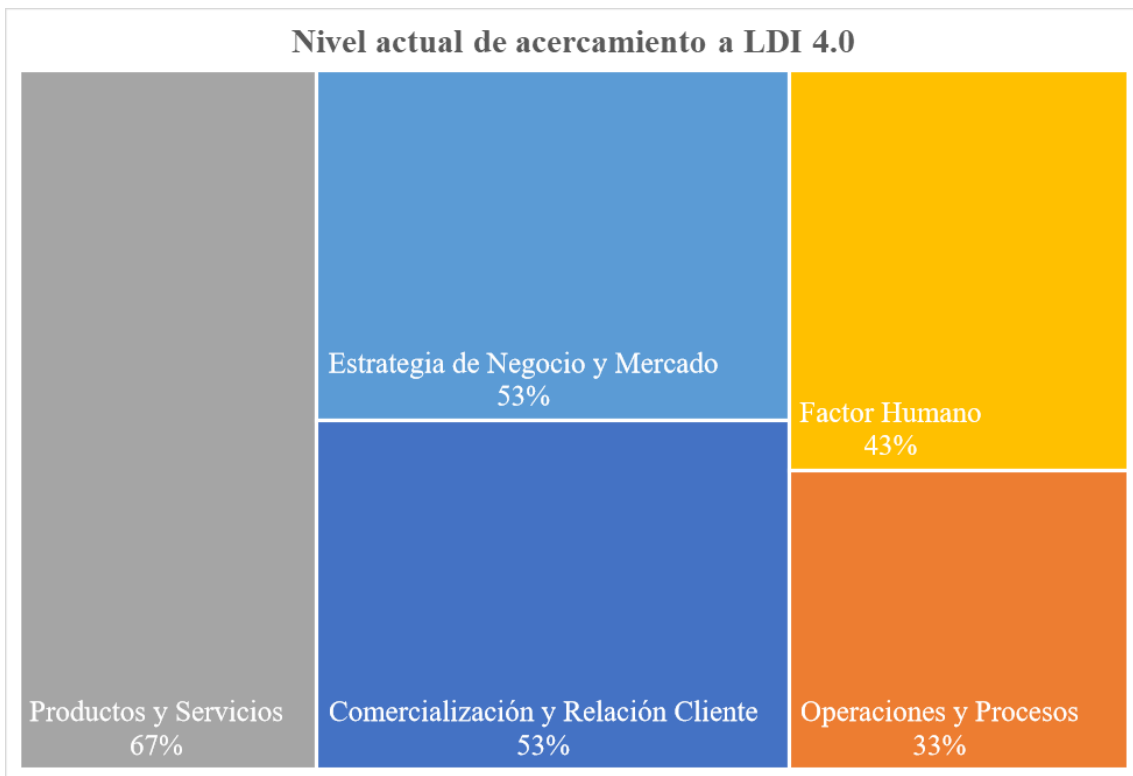
El primer paso para realizar el diagnóstico ha sido recoger información en la planta de producción, con el objetivo de tener una visión lo más cercana posible a la realidad. A partir de esta recogida de datos, se ha utilizado la herramienta de diagnóstico anteriormente definida para evaluar a la empresa en cuanto a nivel *lean digital industria 4.0*.

El resultado global de la empresa califica a esta como **Competitiva** en nivel de adopción *lean digital industria 4.0*. Entrando en cada una de las dimensiones clave analizadas, el resultado se muestra en la siguiente Figura:

Dimensiones	Ponderación Dimensión	Peso Dimensión	Suma Palancas	Nivel Actual Global	
Estrategia de Negocio y Mercado	3	18%	53%	9%	Competitiva
Operaciones y Procesos	5	29%	33%	10%	Competitiva
Productos y Servicios	3	18%	67%	12%	Avanzada
Factor Humano	4	24%	43%	10%	Competitiva
Comercialización y Relación Cliente	2	12%	53%	6%	Competitiva

Análisis global **Cosméticos MIES** (Fuente: Elaboración propia).

En la siguiente Figura se observa la comparativa entre el peso de cada dimensión en el diagnóstico y el estado actual de la empresa.



Comparativa nivel de dimensiones clave (Fuente: Elaboración propia).

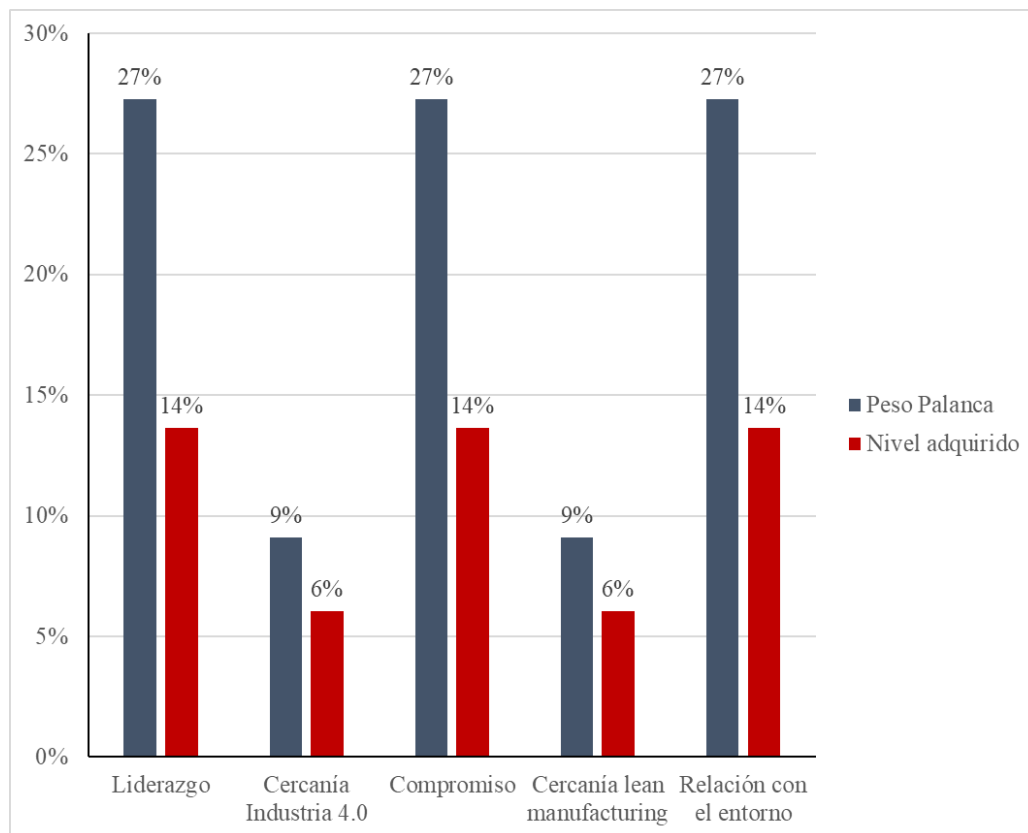


Como se puede observar el nivel de las dimensiones con mayor peso Operaciones y Procesos y Factor Humano obtienen una calificación baja. Por tanto, deben ser analizadas en profundidad.

A continuación, se desarrolla el estudio en cada una de las dimensiones clave, según los resultados obtenidos.

Dimensión 1 – Estrategia de Negocio y Mercado

El primer punto es observar el nivel actual de cada una de las palancas:



Análisis palancas Estrategia de Negocio y Mercado (Fuente: Elaboración propia).

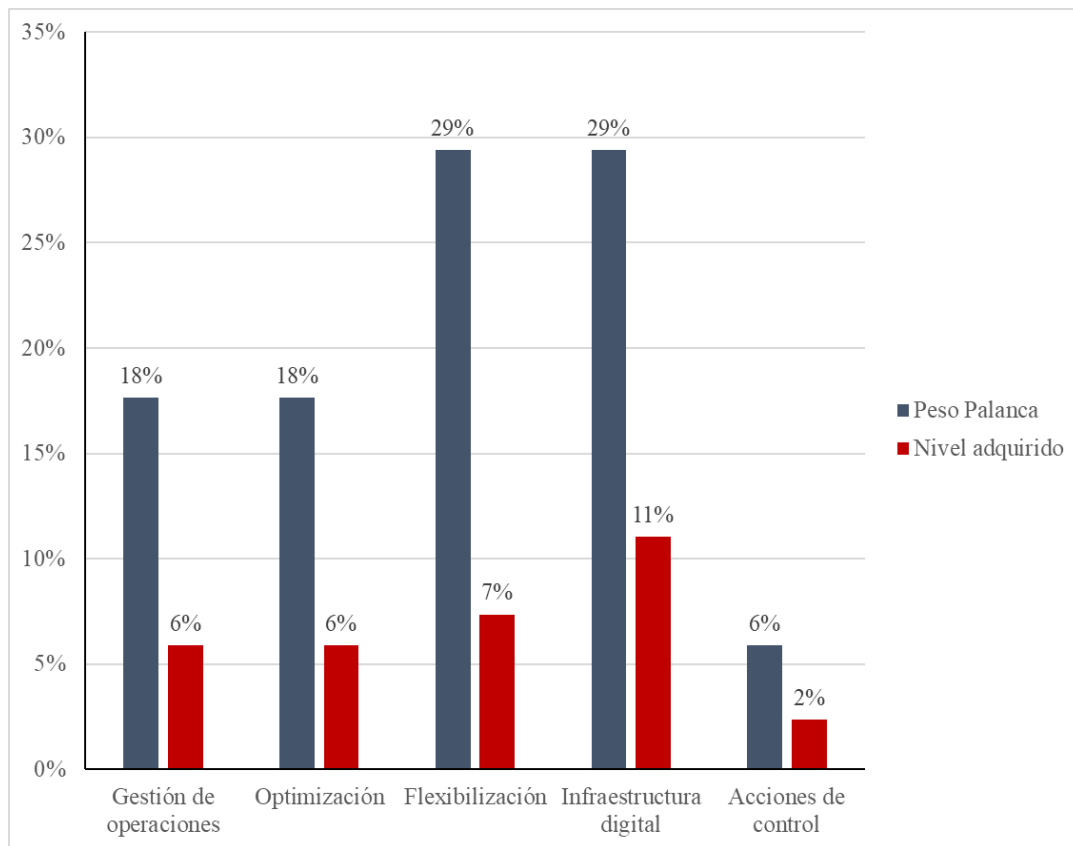


Palanca	Conclusiones
Liderazgo	Los dirigentes de la empresa afrontan la situación actual, siendo conscientes de la necesidad de modificar el funcionamiento actual de su empresa. Pero sin embargo no tienen un conocimiento claro de los puntos clave de su negocio.
Cercanía Industria 4.0	No se ha realizado un estudio de los competidores ni se ha elaborado una estrategia de transformación, pero si conocen las tecnologías habilitadoras y los beneficios que puede traer consigo su implantación.
Compromiso	Cosméticos MIES tiene un compromiso alto el cambio pero no ha realizado ninguna acción para encaminarse hacia la evolución ni ha asignado responsabilidades en su organigrama.
Cercanía <i>lean manufacturing</i>	La metodología <i>lean manufacturing</i> es conocida por los máximos dirigentes de la empresa de forma teórica, pero no se han planteado su adopción en su planta de producción.
Relación con el entorno	La empresa tiene buenas vías de comunicación con las empresas participantes en su negocio, pero es una relación estrictamente económico mercantil. No se trabaja de forma colaborativa para la optimización de la cadena de suministro.

Análisis palancas Estrategia de Negocio y Mercado (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 2 – Operaciones y Procesos

La siguiente dimensión de gran importancia tanto en aspectos *lean* como de adopción de habilitadores para aumentar la eficiencia y flexibilidad de la producción. Esta se encuentra infrautilizada como se puede observar en las siguientes Figuras:



Analisis palancas Operaciones y Procesos (Fuente: Elaboración propia).

Palanca

Conclusiones

Gestión de operaciones

Cosméticos MIES conoce su capacidad productiva y se ha marcado como objetivo optimizar esta dimensión.

Pero no ha identificado ni analizado los procesos clave de su producción, por lo que no ha realizado ningún estudio al respecto.

Optimización

La empresa realiza revisiones periódicas de la planificación de la producción a través del análisis de indicadores de eficiencia productiva. También realiza esfuerzos específicos para disminuir el nivel de almacenamiento ajustando la producción en base a información recogida en años anteriores.

Sin embargo, no se han analizado posibles procesos sin valor añadido ni se ha optimizado el flujo de materiales y productos en planta. No se dispone de un sistema de producción *pull* en base a un flujo de fabricación unitario.

Flexibilización

Se dispone de mecanismos digitales para la planificación de la producción, algunos de los procesos se encuentran automatizados lo que aumenta la flexibilidad de la producción. Al mismo tiempo se cuenta con herramientas de almacenamiento de información en la nube.



El grado de automatización es bajo, los equipos no tienen capacidad de conectividad entre ellos, lo que dificulta el trabajo colaborativo. Tampoco se han realizado estudios para la óptima realización de las tareas, en cada puesto de trabajo.

Acciones de control

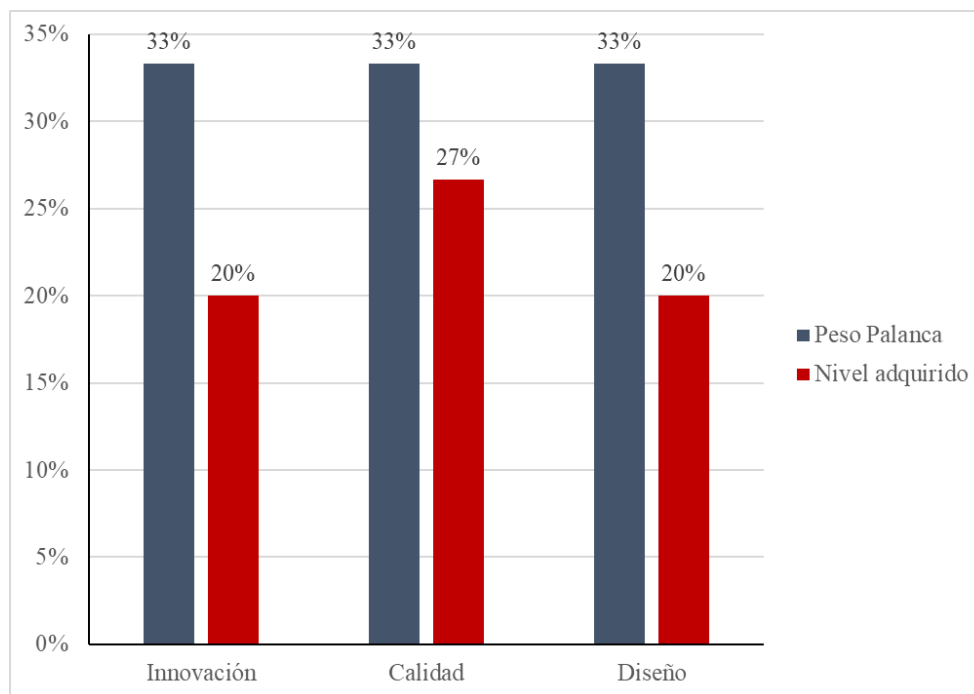
Se controla el cumplimiento de los trabajos subcontratados y se han planificado acciones de respuesta ante incumplimientos. Además, se promueve el análisis de errores cometidos en la planta a través de procesos de mejora continua.

En cambio, no existe ningún mecanismo que permita anticiparse a los incumplimientos ni se ha dotado a los recursos en planta de dispositivos para su control.

Analisis palancas Operaciones y Procesos (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 3 – Productos y Servicios

Los Productos y Servicios son los aspectos mejor adaptados al concepto *lean digital industria 4.0*. Como se puede observar en el siguiente análisis:



Analisis palancas Productos y Servicios (Fuente: Elaboración propia).

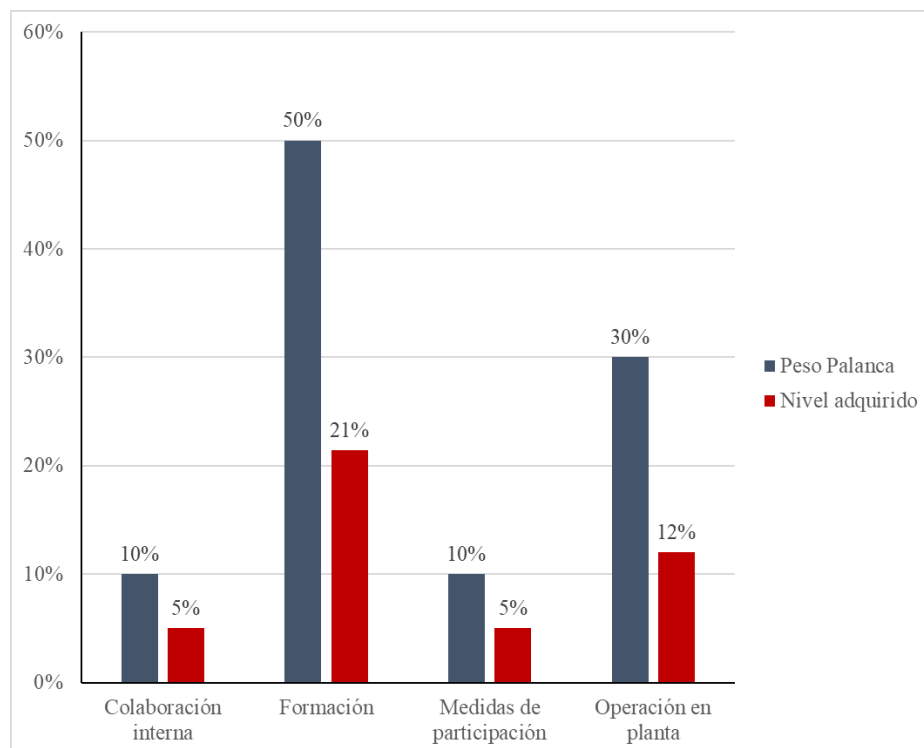


Palanca	Conclusiones
Innovación	Los productos elaborados tienen un grado de diferenciación medio-alto respecto a la competencia. La empresa intenta acercar sus productos a las exigencias del mercado y las opiniones de los consumidores. Ha tomado medidas como la incorporación de impresoras 3D para el realizar prototipos de sus envases e intenta reducir los plazos de entrega.
Calidad	La calidad de sus productos es un aspecto clave para la Cosméticos MIES , por ello ha realizado grandes inversiones, en la implantación del sistema de calidad. Se encuentra en fase de estudio la posibilidad de implantar un sistema de trazabilidad de los envíos con el fin de poder detectar la entrega de productos defectuosos a causa de incidencias en el transporte.
Diseño	La empresa cuenta con un departamento de diseño de productos, cuyo objetivo es potenciar las características de este para acercarlo a las necesidades del cliente.

Analisis palancas Productos y Servicios (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 4 – Factor Humano

El Factor Humano es una característica propia de la metodología *lean*, y en este caso no se encuentra potenciada.



Analisis palancas Factor Humano (Fuente: Elaboración propia).

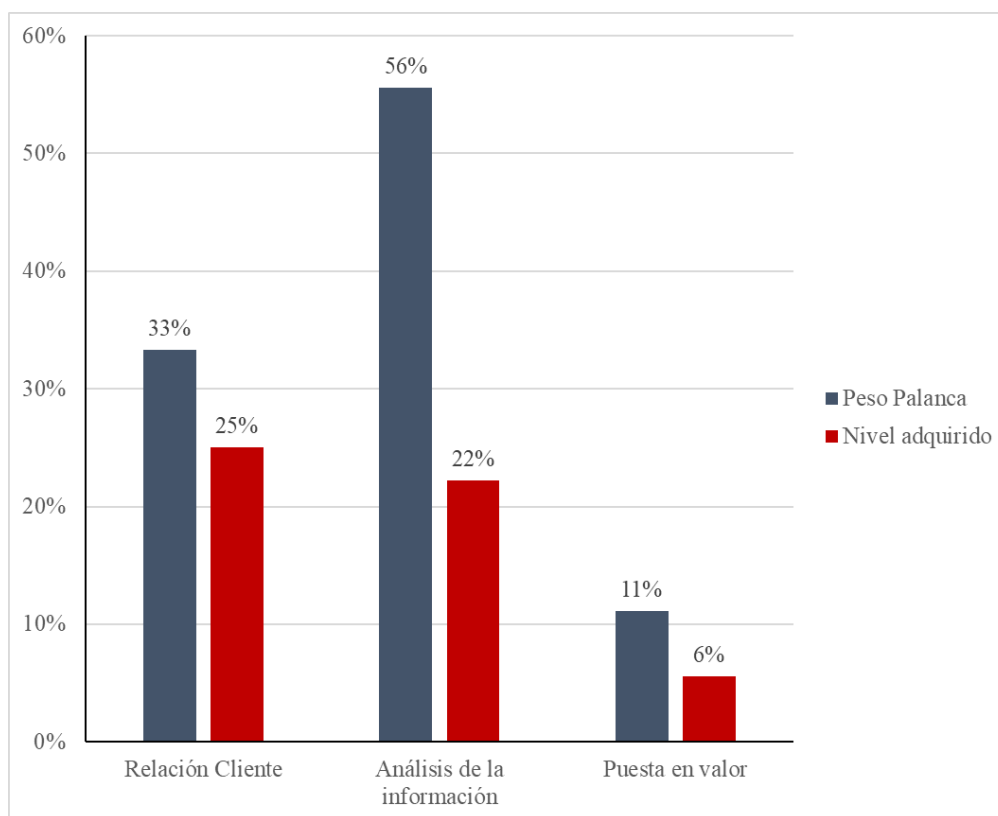


Palanca	Conclusiones
Colaboración interna	No existe una estrategia para la fomentación de la colaboración entre diferentes departamentos. La empresa no ha creado grupos multidisciplinares para la revisión de objetivos y búsqueda de soluciones.
Formación	La empresa ha formado a sus trabajadores en prevención de riesgos laborales, pero no promueve acciones formativas en otros aspectos como pueden ser la mejora de las capacidades digitales o el conocimiento de metodologías de trabajo como <i>lean</i> .
Medidas de participación	Cosméticos MIES cuenta con un buzón físico en el cuál los trabajadores pueden sugerir acciones de mejora en la planta. Pero estas no son evaluadas por un conjunto de personas multidisciplinar que abarque todos los departamentos y rangos de la empresa, sino que su revisión ha sido otorgada a un único responsable.
Operación en planta	<p>En la línea de producción existen indicadores visuales que dan información acerca del rendimiento de los procesos. También se han otorgado responsabilidades de mantenimiento de los equipos en los operarios y estos cuentan con herramientas para detener la producción en caso de desvíos importantes.</p> <p>En lado opuesto, la empresa no ha realizado un estudio individualizado de los puestos de trabajo en busca de mejorar las condiciones de trabajo, eliminar tareas superfluas y dar rutinas de trabajo óptimas a los operarios.</p>

Análisis palancas Factor Humano (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 5 – Comercialización y Relación Cliente

Cosméticos MIES, se encuentra bien posicionada en el aspecto de dar valor a los datos recogidos, en cambio no cuenta con herramientas para su análisis.



Análisis palancas Comercialización y Relación Cliente (Fuente: Elaboración propia).

Palanca	Conclusiones
Relación Cliente	<p>La empresa cuenta con herramientas de marketing online, aunque el porcentaje de ventas por esta vía siguen siendo residual.</p> <p>No se aprovecha la información acerca de los hábitos de compra online de los clientes para el desarrollo de nuevos productos. Ni se cuenta con mecanismos de diseño colaborativo con estos.</p>
Análisis de la información	<p>La empresa envía encuestas de satisfacción a los clientes regularmente, de esta forma se analiza la relación con los clientes.</p> <p>No cuenta con ninguna herramienta de ciberseguridad, ni de análisis de la información.</p>
Puesta en valor	<p>La empresa da importancia a obtener información de las tendencias de los clientes, pero no dispone de herramientas para recoger y analizar la información.</p>

Análisis palancas Comercialización y Relación Cliente (Fuente: Elaboración propia).



Resumen diagnóstico

A continuación, se recogen los principales resultados por cada una de las áreas del modelo

LDI 4.0:

Estrategia de Negocio y Mercado	(+) Dirección de la empresa da máxima importancia al proceso de transformación. (+) Existe conocimiento acerca de Industria 4.0 y <i>lean manufacturing</i> . (-) No se conocen los procesos clave de la empresa. (-) No existe una estrategia de transformación. (-) Relación con proveedores estrictamente económico mercantil.
Operaciones y Procesos	(+) Objetivo de mejora. (+) Se dispone de indicadores de productividad. (+) Conciencia de mejora continua. (-) Desconocimiento cadena de valor. (-) No se utilizan principios <i>lean</i> , para la mejora del desempeño. (-) Adaptabilidad de la producción limitada.
Productos y Servicios	(+) Producto diferenciado. (+) Utilización de fabricación aditiva para la elaboración de prototipos. (+) Inversión en mejora de la calidad de los productos. (+) Acercamiento del producto a las exigencias del cliente. (-) Dificultad de aumentar funcionalidades y servicios a través de la introducción de dispositivos digitales.
Factor Humano	(+) Operarios con responsabilidades de mantenimiento. (+) Participación por medio de sugerencias de mejora. (-) No existe una estandarización de las tareas. (-) Falta de optimización de los puestos de trabajo. (-) No se promueven el trabajo colaborativo. (-) Falta de acciones formativas para aumentar las capacidades digitales.



Comercialización y Relación Cliente	(+) Cuentan con herramientas de marketing digital. (+) Recogida de la satisfacción de los clientes. (-) No disponen de herramientas para recoger información de vías digitales. (-) No disponen de herramientas para el análisis de información. (-) No disponen de herramientas de ciberseguridad.
--	---

Análisis fortalezas/debilidades **Cosméticos MIES** (Fuente: Elaboración propia).

Tras la realización del diagnóstico se detectan distintas cuestiones sobre las que sería recomendable trabajar, especialmente en las áreas de producción y factor humano. Como última fase de la metodología de diagnóstico **LDI 4.0**, se proponen una serie de medidas y acciones de mejora del desempeño de la empresa **Cosméticos MIES**.

Descripción de los proyectos de implantación

Se identifica cada proyecto según la dimensión que se vería afectada y el nivel en el que se encuentra actualmente y cuál sería el objetivo a alcanzar.

Dimensión 1 – Estrategia de Negocio y Mercado (Competitiva-Avanzada)

Proyecto	Formalizar la estrategia de formación.
Objetivo de la implantación	El objetivo de esta acción es el de dotar a la empresa de una planificación estratégica para impulsar el cambio.
Acciones	Definición de necesidades, objetivos a alcanzar, presupuesto y alcance.
Beneficios	Concienciación de los máximos dirigentes, ejecución de acciones planificadas.

Acciones Estrategia de negocio y Mercado (Fuente: Elaboración propia).



Dimensión 2 – Operaciones y Procesos (Competitiva-Avanzada)

Proyecto	Desarrollar sistema de comunicación entre procesos consecutivos.
Objetivo de la implantación	Mejorar la coordinación y flexibilidad de los procesos productivos.
Acciones	Introducción de redes inalámbricas de sensores industriales. Implantación de sistema <i>e-Kanban</i> para el seguimiento del pedido en la cadena de producción.
Beneficios	Reparto equilibrado de carga de trabajo, disminución de tiempos de espera, reducción de tiempos de preparación.

Acciones Operaciones y Procesos (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 3 – Productos y Servicios (Avanzada – Líder)

Proyecto	Reducir el tiempo de llegada al mercado de nuevos productos.
Objetivo de la implantación	Conseguir testar los productos en el mercado, acercándose en la medida de lo posible a los requerimientos de los clientes.
Acciones	Introducción de máquinas de impresión 3D con el objetivo de realizar prototipos de los productos. Modelo de desarrollo en función del ciclo: Idea-Construcción-Producto-Medida-Información-Aprender.
Beneficios	Reducción de costes de construcción prototipos, mayor conocimiento de las exigencias de los clientes, menores fases de rediseño.

Acciones Productos y Servicios (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 4 – Factor Humano (Competitiva-Avanzada)

Proyecto	Reducir el número de tareas sin valor añadido.
Objetivo de la implantación	Evaluar las tareas realizadas en los diferentes puestos de trabajo.



Acciones	Análisis de tareas y tiempos en puesto de trabajo. Recogida de opiniones por parte de los trabajadores
-----------------	--

Beneficios	Eliminación de tareas sin valor añadido, aumento de la productividad, mayor grado de satisfacción trabajadores.
-------------------	---

Acciones Factor Humano (Fuente: Elaboración propia).

Dimensión 5 – Comercialización y Relación Cliente (Competitiva-Avanzada)

Proyecto	Implementación de herramientas digitales de protección de datos.
-----------------	--

Objetivo de la implantación	Disponer de un sistema de ciberseguridad acorde a las necesidades de la empresa.
------------------------------------	--

Acciones	Estudio de las necesidades de protección y potenciales peligros a los que está expuesta la empresa. Implantación de sistemas acordes a las necesidades.
-----------------	---

Beneficios	Evitar riesgos de robos de información.
-------------------	---

Acciones Comercialización y Relación Cliente (Fuente: Elaboración propia).