

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

Autor: Elena Berges Basáñez

Tutor: Miguel Torres García

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

Autor:

Elena Berges Basáñez

Tutor:

Miguel Torres García

Profesor titular

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Proyecto Fin de Grado: Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

Autor: Elena Berges Basáñez

Tutor: Miguel Torres García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis compañeros

Agradecimientos

A todas las personas que han hecho posible, de forma indirecta o indirecta, la realización de este proyecto.

A todos los profesores que han formado parte de mis etapas de aprendizaje, desde el primero hasta el último, aportándome todas las bases necesarias para afrontar cualquier reto.

A mis tutores, tanto a D. Miguel Torres García, Profesor de la Universidad de Sevilla como a D. Eduardo Simarro Núñez, tutor en Airbus Defense & Space. Igualmente, quisiera agradecer al resto de compañeros de mi departamento, dado que su ayuda y apoyo han sido fundamentales para la consecución de este proyecto y con los cuales he compartido mi primera experiencia profesional; en la que se volcaron conmigo desde el primer día.

Al resto de compañeros y a todos mis amigos, tanto de dentro como de fuera de la vida académica, entre los cuales nos hemos apoyado y acompañado mutuamente.

Por último, pero no menos importante, quisiera agradecer a mi familia, gracias a la cual no solo he tenido la oportunidad de haber podido estudiar esta carrera y llegar a dónde estoy ahora; sino por todas las demás que me han brindado a lo largo de mi vida.

Muchísimas gracias a todos.

Elena Berges Basáñez

Sevilla, 2020

Resumen

Comenzar exponiendo que la elaboración de este proyecto se ha apoyado en su mayor parte en la realización de unas prácticas curriculares en la empresa Airbus D&S como parte del programa “AX”, dentro del Departamento de Rendimiento y Mejora.

El presente trabajo está basado en la gestión del proyecto “TABLADA 4.0, Factory of Future & Innovation”, con el objetivo de convertir la factoría de Tablada en una verdadera fábrica del futuro para aumentar la competitividad de Airbus como acelerador de la re-evolución. Dicho proyecto se basa en cuatro pilares fundamentales: “Tablada Digital 4.0”, en el que nos centraremos, “Tablada Física 4.0”, “Tablada Humana 4.0” y “Ecosistema Innovador Tablada 4.0”.

El proyecto parte de la premisa de que lo que no se puede medir no se puede mejorar y que lo que no se mejora, se acaba deteriorando y; de que, un proceso maduro es aquel que se puede seguir. Esto, motiva la puesta en marcha de herramientas digitales para la asignación de trabajo y el seguimiento de la producción. Así, se desarrolla Digital Barchart, un elemento interactivo para usarse en taller, que muestra la secuencia de planificación de una estación y también la información en tiempo real del estado de las tareas, permitiendo saber si una tarea ha comenzado, si está bloqueada o si está en marcha. Muestra también toda la información relevante sobre la producción, incluyendo incidencias, piezas perdidas o no conformidades. El conjunto de operaciones se representa gráficamente a través de un diagrama de Gantt, comparando los tiempos de producción teóricos y reales de cada operación

Lo que concierne para que el desarrollo de esta herramienta dentro de la empresa sea óptimo no es el desarrollo de su software, sino una correcta implementación de esta y una cultura digital arraigada. Así, la formación y organización de todo el personal implicado, la planificación de las etapas y responsabilidades sobre el nuevo sistema y; la organización de las tareas de mantenimiento y supervisión serán la guía para su correcto funcionamiento y seguimiento en los procesos de mejora continua y serán los objetos de este estudio.

Abstract

Start by stating that the development of this project has been largely supported by the implementation of a curricular internship at Airbus D&S as part of the program "AX", within the Department of Performance and Improvement.

The present work is based on the management of the project "TABLADA 4.0, Factory of Future & Innovation", with the aim of turning Tablada's factory into a real factory of the future benchmark in order to increase Airbus' competitiveness as an accelerator of the re-evolution. This project is based on four fundamental pillars: "Digital Tablada 4.0", on which we will focus, "Physical Tablada 4.0", "Human Tablada 4.0" and "Innovative Ecosystem Tablada 4.0".

The project is based on the premise that what cannot be measured cannot be improved and that what is not improved ends up deteriorating, and that a mature process is one that can be followed. This scenario motivates the implementation of digital tools for production monitoring. Thus, Digital Barchart is developed, an interactive element where the tasks to be carried out by a group or work area are represented graphically through a Gantt diagram, against the time frame. Its objectives are to saturate production, optimize resources and avoid waste.

What concerns the development of this tool within the company is not the development of its software, but a correct implementation of it. Thus, the training and organization of all staff involved, planning of the stages and responsibilities on the new system and; the organization of maintenance and supervision tasks will be the guide for its proper functioning and monitoring in the processes of continuous improvement and will be the objects of this study.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Índice	xii
Índice de Figuras	xiv
Notación	xv
1 Introducción	1
1.1 <i>Contenido del documento</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
1.2 <i>Objetivos</i>	2
2 La industria 4.0	3
2.1 <i>Introducción a la Industria 4.0</i>	3
2.1.1 <i>Revoluciones Industriales anteriores</i>	3
2.1.2 <i>La Cuarta Revolución Industrial</i>	4
2.1.3 <i>Tecnologías facilitadoras clave</i>	5
2.1.4 <i>La Fábrica del Futuro</i>	8
2.2 <i>La industria 4.0 en España</i>	10
2.2.1 <i>Entorno y contexto</i>	10
2.2.2 <i>Horizonte 2020</i>	12
2.2.3 <i>Retos</i>	16
3 El sector aeroespacial	21
3.1 <i>El sector aeroespacial</i>	22
3.2 <i>El sector aeroespacial en España</i>	24
3.3 <i>AIRBUS</i>	25
3.4 <i>La digitalización en el sector aeroespacial</i>	27
4 LEAN MANUFACTURING	31
4.1 <i>Conceptos previos</i>	31
4.1.1 <i>Los 7 desperdicios</i>	31
4.1.2 <i>Herramientas Lean</i>	33
5 Descripción y desarrollo del trabajo	38
5.1 <i>Localización</i>	38
5.2 <i>Antecedentes</i>	38
5.2.1 <i>TABLADA 4.0 Factory of Future</i>	38
5.3 <i>Alcance</i>	42
5.4 <i>Metodología y gestión operativa</i>	43
5.4.1 <i>Definición del equipo.</i>	43
5.4.2 <i>Planificación del trabajo.</i>	43
5.5 <i>Acciones realizadas</i>	46
5.5.3 <i>Documento 2:” DBC.Reglas de Oro”</i>	51
5.5.4 <i>Documento 3:” DBC. One Single Flow”</i>	52
5.5.5 <i>Documento 4:” Planificación MEP/DBC”</i>	54

5.6	. <i>Elementos de análisis. KPIs</i>	56
5.6.1	KPIs automáticos	56
5.6.2	Otros análisis	57
5.7	. <i>Resultados obtenidos y mejoras identificadas</i>	57
5.7.1	Madurez digital	57
5.7.2	Matriz de madurez digital	61
6	Conclusiones	62
7	Bibliografía	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la Fábrica del Futuro	10
Figura 2. Pirámide poblacional de España en 2020	12
Figura 3. Networked Readiness Index,2019	13
Figura 4. Digital Economy and Society Index, 2019	14
Figura 5. Networked Readiness Index, 2014	15
Figura 6.Digital Economy and Society Index, 2014	15
Figura 7. Gap de penetración digital	16
Figura 8. Evolución del número de estudiantes matriculados en Grado y 1 ^{er} y 2 ^o Ciclo por rama de enseñanza.	17
Figura 9. Configuración empresas aeroespaciales en España.	23
Figura 10. Fcturación sector aeroespacial en España	24
Figura 11. Ránking empresas sector aeroespacial en España.	25
Figura 12.Secciones de Airbus Group.	26
Figura 13.Ciclo de Deming	33
Figura 14.Símbolos estandarizados de un VSM	36
Figura 15.: Aula de conocimiento, ficha en blanco.	46
Figura 16.: Interfaz principal DBC.	47
Figura 17.: Balanceo de línea.	48
Figura 18.: Proceso global DBC	49
Figura 19.:DBC Reglas de Oro. Pág.1	51
Figura 20.:DBC Reglas de Oro. Pág.2	52
Figura 21.: Despliegues DBC	54
Figura 22.: Planificación DBC	55
Figura 23.: Planificación MEP	55
Figura 24.:DBC KPIs	56
Figura 25: Roadmap Madurez Digital	58
Figura 26.: KPI 1	59
Figura 27: KPI 2	59
Figura 28: KPI 3	60
Figura 29: KPI 2	61

A^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
■	Como queríamos demostrar
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
Re	Parte real
Im	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
sen	Función seno
$\sin^x y$	Función seno de x elevado a y
$\cos^x y$	Función coseno de x elevado a y
Sa	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángulo
Sinc	Función sinc
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto
x°	Notación de grado, x grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso A
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
<	Menor o igual
>	Mayor o igual
\	Backslash
\Leftrightarrow	Si y sólo si

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en el entorno empresarial uno de los conceptos más utilizados es el de la famosa “transformación digital”. La digitalización de los procesos industriales, y la interconexión entre los mismos, está dando lugar a un nuevo paradigma productivo conocido como la Industria 4.0 o Fábrica del Futuro. La aplicación de nuevas tecnologías y la creación de nuevos modelos corporativos permite a las empresas organizar mejor sus recursos, gestionar de una manera más eficiente su información y comunicación y, en definitiva, mejorar sus resultados.

Por otra parte, la filosofía Lean Manufacturing está ya presente en multitud de empresas como parte de la cultura de mejora continua. Esta metodología, persigue un modelo productivo que puede definirse como ‘producción esbelta, ágil o sin grasa’, ya que busca eliminar todos los desperdicios y actividades sin valor. En definitiva, busca que los procesos productivos sean lo más eficientes posibles, lo que al igual que la Industria 4.0, llevaría a mejorar los resultados de la empresa.

Así, la interacción entre la Industria 4.0 y el Lean Manufacturing, será esencial para todos aquellos que busquen la eficiencia en sus empresas y quieran ser competitivos en el mercado actual. La combinación de ambas mejorará la toma de datos, lo que lleva a una mayor capacidad de análisis y toma de decisiones que permitirá detectar los problemas con antelación, tener una mayor velocidad de reacción ante los imprevistos y eliminar los desperdicios.

Para que lo anterior se lleve a cabo, será fundamental la implicación de los trabajadores que ahora podrán interactuar más con el sistema. De igual manera, será importante la interacción de los directivos con el proceso productivo; gracias a estas herramientas, podrán saber a tiempo real que está pasando en todo momento y conocer todos los puntos de dolor de estos.

Todo ello, favorece en gran medida el seguimiento de la producción. En Airbus, se busca medir para mejorar para lo que se introduce un sistema digital que sature la producción, optimice los recursos y evite los desperdicios. Con la implementación de esta herramienta, Digital Barchart, se pretende detectar ineficiencias en el proceso de producción de las aeronaves que serán mejoradas y depuradas posteriormente. Asimismo, se quiere visualizar en línea el estado de la obra en curso de forma instantánea. Además, con la aplicación se quiere poder gestionar de forma ágil cualquier incidencia ocurrida en taller, pudiendo enviar y recibir información de otros sistemas. Por último, se quiere fomentar la autogestión y autonomía de los GNT, Grupos Naturales de Trabajo.

Para la consecución de dichos objetivos es necesario promover el cambio cultural en la industria 4.0: ayudar a los equipos a interiorizar lo antes posible el cambio de mentalidad necesario para comenzar a trabajar con herramientas digitales. Se dará formación la necesaria, así como apoyo cercano y continuo al despliegue de la herramienta, especialmente en aquellas estaciones que no están familiarizadas con el entorno digital.

Además, para evitar que todo el esfuerzo anterior se vea truncado es importante comprobar sistemáticamente el correcto funcionamiento de la herramienta y escalar problemas técnicos que impedirían seguir con el avance.

Como complemento a todo lo anterior, se realizarán análisis periódicos a través de varios KPIs (*Key Performance Indicators* o Indicadores Clave) para comprobar el estado de madurez tanto de esta herramienta como de las demás implantas en la factoría de Tablada, Sevilla.

1.1 Objetivos

La definición de objetivos es un elemento clave en la elaboración de un proyecto, ya que son los que nos marcan el camino a seguir. Estos deben ser medibles, usaremos una serie de indicadores clave durante la ejecución del proyecto; realistas, nuestro proyecto está consensuado con todos los responsables de planta y mandos de taller y se ha verificado que disponemos de los medios necesarios y; limitados en el tiempo.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de este trabajo es el de promover el cambio cultural en la Industria 4.0 dentro de la factoría que la empresa Airbus tiene en Tablada, Sevilla.

Específicamente, habrá otros dos objetivos más concretos que señalan pequeñas metas para alcanzar el objetivo general.

El primero, se basará esencialmente en dar un apoyo cercano y continuo al despliegue de la herramienta Digital Barchart, especialmente en las estaciones que no están familiarizadas con el entorno digital.

Cabe recordar que la implementación de esta herramienta en todas las líneas de montaje permitirá:

- Detectar de ineficiencias en el proceso de producción que serán mejoradas y depuradas posteriormente, como cuellos de botella o fallas en los procesos.
- Tener visibilidad en línea del estado de la producción en el taller, llevar un control de los avances.
- Disfrutar de una fácil interacción con el sistema: Compartir tareas, declarar el inicio y el final de las tareas, notificaciones, incidencias, comentarios y progresos.
- Poder enviar y recibir información de otros sistemas (Sipla, SAP y DeMaT).

El otro objetivo será medir el rendimiento tanto de esta herramienta como de las otras iniciativas digitales, a través de diversos indicadores, para conocer el grado de madurez digital de la planta y; analizar los puntos de dolor y establecer los pasos próximos, para llegar a ser la fábrica del futuro de la que se hablará a lo largo de este documento.

1.2 Contenido del documento

Detallados los elementos principales, se distinguirá la siguiente estructura a lo largo del proyecto:

En el **Capítulo 1**, Introducción, se procede a realizar un resumen de los objetivos de los que consta el proyecto y cuya consecución será fundamental para que pueda ser considerado como exitoso.

En el **Capítulo 2**, La Industria 4.0, se expondrá toda la información necesaria para saber qué es y cómo surge la misma, así como el impacto que va a tener la transformación digital en la forma de trabajo, especialmente en España.

En el **Capítulo 3**, El sector Aeroespacial, se verán las grandes transformaciones a aplicar en este sector, así como su necesidad de ser pionero en esta revolución digital. Se mostrará el análisis de Airbus D&S como caso de éxito, donde se analizará el funcionamiento y organización, el modelo productivo y administrativo seguido y los elementos principales necesarios para obtener los resultados.

En el **Capítulo 4**, Lean Manufacturing, se definirán los conceptos clave de esta metodología, así como los objetivos que persigue y alguna de las herramientas que se emplean para ello.

En el **Capítulo 5**, Descripción y desarrollo del trabajo, se dará toda la información necesaria para conocer el proyecto realizado dentro de la empresa. Para ello, se detallarán los antecedentes que motivan el mismo, los objetivos, el proceso seguido para la implantación del sistema, la formación de los distintos niveles, las acciones y los entregables realizados, el procedimiento seguido para el control y mantenimiento del sistema y los resultados obtenidos a día de fecha fin de las prácticas, así como las mejoras observadas y pasos futuros.

En el **Capítulo 7**, Conclusiones, destacaré los principales aspectos resultantes de todo el desarrollo del proyecto.

2 LA INDUSTRIA 4.0

Estamos al borde de una revolución tecnológica que modificará fundamentalmente la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. En su escala, alcance y complejidad, la transformación será distinta a cualquier cosa que el género humano haya experimentado antes.

- Klaus Schwab -

2.1 Introducción a la Industria 4.0

2.1.1 Revoluciones Industriales anteriores

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, proviene, al igual que las tres anteriores, de una sucesión de cambios y paradigmas, que rompen radicalmente con lo establecido anteriormente, y se caracterizan por su profundidad y rapidez, afectando a todo el conjunto y todos los ámbitos de una sociedad. Así, para llegar a comprender esta última resulta necesario conocer, al menos, los tres procesos de revolución tecnológica que se han producido en la Edad Contemporánea protagonizados por la industria, entendiendo a la misma como “el conjunto de procesos y actividades que permiten transformar materias primas en productos elaborados o semielaborados”.

La Primera Revolución Industrial, se inició en Reino Unido en la segunda mitad del siglo XVIII con la invención de la máquina de vapor, siendo este el primer momento en el que transformó un tipo de energía en otro, energía calorífica en mecánica. El funcionamiento de dicha máquina era simple: se quemaba algún tipo de combustible para generar calor, con ese calor se hacía hervir agua y con el vapor resultante se hacía mover un pistón, generando movimiento. Sin embargo, hasta ese momento, el único motor capaz de realizar una conversión energética era el cuerpo humano y, el animal en general; a través de su metabolismo; lo que hacía que la vida fuese dependiente del ecosistema circundante y del ciclo de la luz solar. Es por todo lo anterior, por lo que la sociedad ante la que nos encontrábamos era rural y se basaba en la agricultura y el comercio. Pero, debido al descubrimiento de esta nueva máquina de vapor y su uso en las distintas industrias supusieron un aumento espectacular de la capacidad de producción. La producción, tanto agrícola como la proveniente de la naciente industria, se multiplicaron a la vez que disminuía considerablemente el tiempo de producción ya que no se necesitaba el esfuerzo físico humano para la realización de las tareas. El estudio y mejora de la eficiencia de la máquina de vapor fueron precursores para la invención del ferrocarril a vapor, la mejora de los barcos, el desarrollo de la industria textil y el descubrimiento de los motores de combustión interna. Esta revolución en la conversión de la energía supuso un cambio no solo tecnológico sino, a su vez, económico y social como no se había visto en la historia desde el Neolítico. Indudablemente, marcó un punto de inflexión en la vida tal y como se conocía hasta entonces, modificando e influenciando todos los aspectos de la vida cotidiana; dejando paso a una economía de carácter urbano, industrializada y mecanizada.

Tras ella, y desde 1870 hasta la Primera Guerra Mundial se desarrolla lo que conocemos como la Segunda Revolución. A diferencia de la anterior, esta no se produjo por un invento que derivó en cambios sino, al contrario. Esta revolución se al conjunto de cambios socioeconómicos que se produjeron de manera acelerada durante este período y que, en consecuencia, trajeron consigo un vasto conjunto de avances. Los avances surgidos en esta época se ven concentrados en el descubrimiento y uso de nuevas fuentes de energía como el gas, el petróleo o la electricidad; nuevos sistemas de transporte como el avión y el automóvil y la comunicación, con el invento de la radio y el teléfono. Todo ello indujo transformaciones en cadena que afectaron al trabajo, con cambios organizativos en las empresas; al sistema educativo, al sistema científico, al consumo e incluso a

la política. En cuanto a la producción, la electrificación de las fábricas junto con la introducción de la cadena de montaje condujo al inicio de la era de la producción masiva de bienes manufacturados. Este proceso se produjo en el contexto de la denominada ‘Primera Globalización’ y que, debido al auge de las comunicaciones y la revolución de los transportes hizo que se extendiese a más territorios que la Primera Revolución Industrial llegando a alcanzar a casi toda Europa Occidental, Estados Unidos y Japón.

Sobre la base de unas tecnologías muy diferentes a las que hemos visto hasta ahora, se desarrolló a mediados del pasado siglo la Tercera Revolución Industrial, conocida también como Revolución Científico-Tecnológica. El potencial de cambio de esta etapa se vio determinado por la convergencia de las tecnologías de las comunicaciones con las nuevas fuentes de energía. Así, en materia de comunicación se introducen nuevos medios de comunicación de masas e Internet sufre un gran desarrollo, además se combina este con la informática y la electrónica; naciendo así las conocidas TIC-Tecnologías de la Informática y la Comunicación Estas tecnologías condujeron a grandes avances en la automatización de procesos y técnicas para la producción de productos industriales, confiriendo a las máquinas mayor autonomía para fabricar estos. En cuanto al terreno energético, se expande el uso de las energías renovables. Al igual que ahora, el objetivo que se perseguía era el de la eficiencia, para lo que se hizo uso de la integración y la flexibilidad de los sistemas de producción y; aunque la tecnología existente era más limitada que la actual, esta supuso un cambio revolucionario para la época y la proliferación de esta podría considerarse el punto de partida para la cuarta revolución industrial de la que hablaremos a continuación.

2.1.2 La Cuarta Revolución Industrial

Esta revolución también es conocida como “Industria 4.0” y la primera vez que se escuchó este término fue en la Feria de Hannover, uno de los encuentros industriales más importantes del mundo, bajo el documento ‘Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0’, Acatech,2003. Este documento fue presentado como parte de una estrategia de Alta Tecnología liderada por el gobierno alemán y en él, se describía una producción industrial cuyos productos y máquinas están todos interconectados entre sí digitalmente. Así, se pretendía buscar equipos y soluciones para la producción industrial que permitiesen su aplicación en entornos industriales mediante la integración de cadenas de valor y la digitalización de todo el proceso productivo. Según lo recogido en el informe, el concepto Industria 4.0 fue usado para denominar al conjunto de todas aquellas acciones dirigidas a lograr la denominada fábrica inteligente o fábrica del futuro, de la que hablaremos más adelante, siendo este uno de los grandes retos de la transformación digital. Nos encontramos entonces en una etapa marcada por avances tecnológicos emergentes en diversos campos que incluyen: robótica, inteligencia artificial, nanotecnología, computación cuántica, biotecnología, Internet de las cosas, impresión 3D y vehículos autónomos.

Además, una vez descritas las anteriores revoluciones, podemos ver como la Primera Revolución Industrial se consolidó a lo largo de unos 100 años, cambiando así la vida de cuatro generaciones de la época; por su parte, la Segunda Revolución Industrial fue aproximadamente de unos 70 años, afectando así a una generación menos que la anterior y; la Tercera Revolución fue la más rápida de todas durando tan solo unos 40 años. Siguiendo esta tendencia, se considera que la Cuarta Revolución Industrial durará tan solo 25 años, es por ello por lo que se basa en la transformación digital para cambiar la producción tal y como conocemos a la velocidad esperada. La transformación digital cobra especial importancia en el escenario en el que nos encontramos hoy en día, un escenario VUCA-*Volatility, Uncertainty, Complexity y Ambiguity*. Este acrónimo se usa para describir aquellos entornos volátiles, inciertos, complejos y ambiguos y, aunque fue empleado por primera vez en los años 90, se utiliza para describir el contexto en el que se encuentran las organizaciones a partir de la crisis financiera mundial de los años 2008 y 2009. A su vez, este concepto tomará fuerza ahora más que nunca debido a la crisis por el Covid-19 a la que nos enfrentamos. Así, la volatilidad se asocia con la gran cantidad de cambios producidos y la velocidad a la que estos suceden Por su parte, la incertidumbre se relaciona con la poca información clara que tenemos sobre el presente, lo que dificulta aún más tomar decisiones sobre el futuro que cambia cada vez más rápidamente. A su vez, la complejidad alude a los múltiples factores clave de decisión que hay que analizar y tener en cuenta a la hora de resolver problemas y conflictos. Por último, la ambigüedad hace referencia a la falta de claridad sobre el significado de un evento

o hecho, lo que impide analizar con precisión las posibles amenazas y oportunidades que se presentan en cada situación. Todo ello, nos presenta un escenario cambiante y hostil que supone un gran desafío para las organizaciones, pero podemos ver como gracias a la transformación digital, las organizaciones no serán capaces solo de adaptarse sino, además, sacarle partido.

Así, la tecnología no solo ha servido para mantener la actividad de las empresas e instituciones durante esta pandemia, sino que como comenta Helena Herrero, presidenta de HP en España: “La tecnología está jugando un papel esencial a la hora de combatir esta pandemia: El Big Data, la IA y la impresión 3D son los grandes puntales para la prevención, la investigación y la fabricación de equipos”. Gracias a las capacidades de operación y comunicación que ofrecen las nuevas tecnologías de la información, la sociedad ha sido capaz de teletrabajar sin perder productividad, demostrando que los puestos de trabajo pueden ser accesibles desde cualquier lugar gracias al acceso a servidores e infraestructuras de forma remota, posible gracias a la nube; realizando videoconferencias e innovando, explorando nuevos negocios o mejorando algunos ya conocidos como los *e-commerce*, entre otros muchos aspectos. Todos estos cambios han sido posibles gracias a la digitalización, la innovación de los modelos y procesos empresariales que explotan las oportunidades digitales. No debemos confundir esta digitalización con el término inglés *digitization*, la conversión de los productos al formato digital y las inversiones asociadas que estos aseguran. Así, como tampoco debemos confundirlo con la transformación digital, la reestructuración a nivel de sistemas de las economías, las instituciones y la sociedad que se produce mediante la difusión digital. En resumen, *digitization* se entiende como la conversión, la digitalización como la adaptación y el proceso y, la transformación digital como la creación y puesta en marcha en la empresa, siendo este el fin último, que bien entendido y regulado podría ser la respuesta para afrontar los desafíos globales que se nos presenten.

2.1.3 Tecnologías facilitadoras clave

La principal característica de la Industria 4.0 es una automatización total de la manufactura para intentar llevar la producción a una total independencia de la mano de obra humana; comprendiendo por automatización el proceso en el que se ejecuta una operación controlada de forma autónoma y constituida por cuatro acciones concretas: observar, analizar, tomar una decisión y ejecutarla.

Dicho esto, el conjunto de herramientas que permitirá impulsar esta transformación de la industria serán las siguientes tecnologías habilitadoras: Sistemas Ciber-físicos (CPS), Internet de las Cosas (IoT), sensores, nanotecnología, Big Data, Cloud Computing, Fabricación Aditiva, Realidad Aumentada. A continuación, se exponen y analizan en profundidad cada uno de estos elementos clave para el desarrollo de esta Cuarta Revolución Industrial.

2.1.3.1 Sistemas Ciber-físicos, Robótica Colaborativa y Sensórica

La automatización de la que hablamos sería posible a través de Sistemas Ciber-físicos, Robótica Colaborativa y Sensórica. Un sistema ciber-físico es aquel que combina infraestructura física y tangible con software, integrando así capacidades de computación, almacenamiento y comunicación junto con capacidades de seguimiento y control de objetos en el mundo físico. Normalmente están conectados entre sí y con el mundo virtual lo que los hace capaces de tomar decisiones descentralizadas y de cooperar mediante IoT y la computación en la nube.

La Robótica Colaborativa, por su parte, permite unir y compartir capacidades de la máquina con las habilidades de las personas. Estos robots permitirán su reconfiguración y reutilización para el desarrollo de distintas operaciones de producto y en diferentes lugares de la planta productiva, respectivamente. Además, estarán conectados con el resto de los elementos de la fábrica y servirán para la obtención constante de datos. Gracias a esta información que almacenan, no solo serán capaces de dar respuestas en tiempo real, sino que, en algunos casos, serán capaces de registrarla, pudiendo así aprender y evolucionar por ellos mismos. Por todo ello, estos sistemas aportarán una mayor interconexión, rapidez, adaptabilidad o seguridad a todo tipo de productos, servicios y procesos.

Los factores capaces de convertir a estas máquinas en autónomas son la nanotecnología y los sensores. La nanotecnología es el estudio, diseño, control y manipulación de la materia a nivel de átomos y moléculas. Por ahora, los sectores que más se benefician de ella son la medicina, la física, la informática y la arquitectura; desarrollando materiales más fuertes, flexibles, ligeros y resistentes. Sin embargo, de lo que más se beneficia el

sector industrial, el cual nos concierne, es del uso de sensores; apostando por la monitorización de sistemas con el fin de monitorizar su uso. Para ello, se cuenta con múltiples dispositivos que permiten la percepción del entorno como interruptores de posición, controladores de fluidos, detectores capacitivos o células fotoeléctricas, entre otros. Estos sensores podrían considerarse como equivalentes a los sentidos humanos, ya que son los encargados de identificar estímulos externos y transmitirlos a la computadora para que, con esta información, tome la decisión correcta en cada caso.

2.1.3.2 IoT, *Internet of Things*

No podríamos estar hablando de la Industria 4.0 sin mencionar el IoT, el Internet de las cosas. Por definición, es "la interconexión a través de Internet de dispositivos informáticos integrados en objetos cotidianos, lo que les permite enviar y recibir datos". Es decir, IoT conecta los dispositivos a Internet o entre ellos, para que puedan así controlar elementos inteligentes de forma remota y recibir alertas y actualizaciones de estado. Gracias al desarrollo de las redes inalámbricas y el bajo coste de los procesadores actuales, cada vez hay más elementos que pueden formar parte del IoT; agregando así un nivel de inteligencia digital que les permite comunicar datos en tiempo real sin la participación humana.

Una prueba que demuestra que demuestra que IoT ha llegado para quedarse es el crecimiento exponencial del número de dispositivos interconectados. La empresa americana Cisco realizó un estudio en el que demuestra que hay más dispositivos conectados que habitantes; según este, la ratio de dispositivos por persona era de 0.8 en 2003; sin embargo, en el año 2010 el número de dispositivos conectados a Internet era de 12.500 millones por 6.800 millones de personas en el mundo, es decir 1.84 dispositivos por persona. Y según el pronóstico de IDC-Internal Data Corporation- este número de dispositivos conectados pasará a ser 80 mil millones para 2025; que generaran 180 zettabytes de datos por año, en contraste con los 44 que se producen actualmente.

2.1.3.3 Big Data e Inteligencia Artificial

Debido a lo anterior y al mundo digital en el que nos encontramos, cada vez hay más datos generados por las tecnologías modernas de manera no estructurada. Por ello, hablamos de Big Data, "el conjunto de datos o combinaciones de datos cuyo tamaño (volumen), complejidad (variabilidad) y velocidad de crecimiento (velocidad) dificultan su captura, gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales. A su vez, se podrían añadir otras dos dimensiones a esta definición, barajando así lo que los expertos denominan como las "5Vs", la veracidad y el valor. No está definido el volumen a partir del cual hablamos de Big Data y no de data simplemente, pero podemos estar hablando de los niveles máximos conocidos Terabytes y Petabytes, este último equivale a 10^{15} bytes. En cuanto a variabilidad se refiere, la gran cantidad de información cada vez procede de un mayor número de fuentes conectadas. Por su parte, la velocidad hace referencia a la rapidez con la que los datos son recibidos. Como ya hemos visto, un elemento innovador de esta revolución es la capacidad de recibir e interpretar datos en tiempo real; algo para lo que los sistemas tradicionales no están capacitados. Por último, la veracidad es la pureza y confianza que destilan los datos y valor es la capacidad para saber qué datos se deben usar en cada momento.

El valor se vuelve de suma importancia ya que, lo interesante de Big Data no es la inmensa cantidad de información que puede almacenar, sino todo lo que ofrece a las empresas el disponer de esta información. A través de un exhaustivo análisis de estos datos, se pueden encontrar tendencias tales como patrones de uso o, se pueden identificar áreas problemáticas como tasas de fracaso lo que lleva a encontrar otras oportunidades de mejora de productos que indudablemente reducirán los costos de desarrollo y montaje. Además, con dichos datos se puede conocer mejor a los clientes, sus gustos e intereses y con ello ofrecer un valor tangible a la sociedad. Es por ello, por lo que en lo que refiere a la industria, el Big Data está adquiriendo cada vez más importancia logrando una mayor eficiencia de todos los procesos industriales.

Por si fuera poco, el Big Data asociar con la inteligencia artificial, ya que gracias a los datos masivos que registra, las máquinas pueden aprender de forma más eficaz y continua. La inteligencia artificial se define como "la capacidad de un sistema para interpretar correctamente datos externos, para aprender de dichos datos y emplear esos conocimientos para lograr tareas y metas concretas a través de la adaptación flexible"; podría resumirse como la inteligencia llevada a cabo por máquinas. Al estar la industria cada vez más digitalizada, los

datos son generados, procesados y analizados continuamente; gracias a la Inteligencia Artificial (AI) las máquinas y los procesos pueden recopilar información de estos grandes volúmenes de datos por sí mismos y optimizar a la vez sus procesos durante la operación en tiempo real.

2.1.3.4 Cloud Computing

Podemos encontrar numerosas definiciones para este término, pero según IBM, una de las mayores empresas de tecnología y consultoría, la computación en la nube consiste en el suministro de recursos informáticos a petición, desde aplicaciones hasta centros de datos, a través de una red, generalmente Internet y con un modelo de pago según uso; es decir, el usuario pagará una cuota mayor cuanto mayor sea el servicio y espacio de almacenamiento usado. Dado el escenario en que nos encontramos, donde la comunicación e intercambio de datos en tiempo real entre distintas unidades operativas es cada vez más necesario, la computación en la nube ofrece soluciones aportando flexibilidad e inmediatez. Como vemos, el concepto es muy amplio y abarca casi todos los posibles tipos de servicio en línea, pero en general se destacan tres modalidades en las que Cloud Computing ofrece servicio a las empresas: Software como servicio (SaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) e Infraestructura como Servicio (IaaS).

El software como servicio consiste en un modelo de distribución de software en el que las aplicaciones están alojadas por una compañía o proveedor de servicio y son administradas por los usuarios a través de un navegador web. Esto presenta numerosas ventajas tales como la abstracción, la posibilidad de iniciar sesión y acceder rápidamente a las aplicaciones y los datos desde cualquier sistema conectado, aunque este esté aislado del espacio virtual de almacenamiento; convirtiéndolo también en un sistema multiusuario. Otra muy destacable es que en caso de que un sistema fallase no se perderían los datos ya que, estos siguen almacenados en la nube. Cabe destacar también que este servicio permite escalar dinámicamente en función de las necesidades de uso, adaptándose a las necesidades puntuales del usuario.

Por su parte, la plataforma como servicio es un conjunto de utilitarios-sofware que resuelven o dan solución a los problemas que se relacionan con la administración del sistema de la computadora- para abastecer al usuario de sistemas operativos y servicios asociados a través de la red sin necesidad de descargas o instalación alguna; ahorrando de esta forma los costes y la complejidad de comprar y gestionar el hardware, software, aprovisionamiento y alojamiento necesario. Con ello, se consigue dar soporte al ciclo de vida de creación y puesta en marcha de aplicaciones web de una manera sencilla, gracias a lo cual se puede acelerar su desarrollo y comercialización.

Por último, la infraestructura como servicio se refiere a la tercerización de los equipos utilizados para apoyar las operaciones, incluido el almacenamiento, hardware, servidores y componentes de red. Lo beneficioso de esto se basa en que las empresas no tienen que invertir en su propia infraestructura y así, usar la contratada de manera dinámica según su propia demanda.

2.1.3.5 Personalización, Simulación y Realidad Aumentada

Otro factor que indudablemente caracteriza esta revolución es la personalización. Al ser cada vez el mercado más competitivo, las empresas necesitan diferenciarse para tener éxito. Esta personalización se basa en ofrecer un mayor protagonismo a los clientes a la hora de elaborar productos y ofrecer servicios para cubrir sus necesidades. El gran volumen de datos que ahora la empresa es capaz de almacenar, marcará el ritmo de paso en los procesos industriales, pudiendo ser estos reproducidos mediante software ajustando distintos parámetros, tratando así de conseguir el proceso más eficiente y un alto grado de satisfacción.

Tanto la personalización como la interacción entre el mundo físico y el virtual se puede verificar mediante dos mecanismos opuestos: la realidad aumentada y la simulación. Por un lado, la realidad aumentada consiste en la superposición de información digital sobre un escenario real, permitiendo proyectar sobre él cualquier tipo de información adicional de carácter digital. Esto último es muy útil en la industria ya que se pueden introducir textos explicativos o manuales interactivos que faciliten la elaboración de tareas, logrando una reducción de errores e incidencias de elaboración, lo que lleva al fin último de los procesos de producción, mejorar la eficiencia en los procesos. De forma contraria, la simulación de procesos de producción o nuevos productos consiste en trasladar los objetos del mundo físico al virtual por medio de modelos 3D para experimentar con

ellos. Con esta tecnología se pueden encontrar los fallos a priori y prevenirlos para trabajar de forma eficaz posteriormente. Esto podría optimizar al máximo los resultados obtenidos y los recursos empleados además de ofrecer muchas más posibilidades al cliente

2.1.3.6 Fabricación Aditiva e Impresión 3D

Por último, la Fabricación Aditiva y la Impresión 3D juegan un papel fundamental en la Industria 4.0. La Fabricación Aditiva se trata de un nuevo concepto de producción, en el cual los materiales se depositan capa a capa de forma ordenada, en base a planos virtuales creados a partir del diseño asistido por ordenador o con softwares de modelado y animación. Con ello, se deja atrás la Fabricación Sustractiva, usada hasta ahora, consistente en pulir un material en bruto hasta conseguir el objeto deseado. Esta técnica ofrece varias ventajas ante el producto: facilita la reproducción de piezas geoméricamente complejas, con formas irregulares o muy específicas; aporta ligereza ya que puede jugar con la densidad de los materiales según los requerimientos y; aporta ergonomía diseñando los componentes adaptándose a cada usuario. Gracias a ella se mejoran también los procesos; aportando rapidez, precisión y ahorro, que son tres cuestiones claves en las que cualquier industria trata ser eficiente. Hablando de la velocidad, las piezas fabricadas de manera aditiva se hacen un 90% más rápidamente ya que se eliminan muchas fases intermedias, según el estudio. Una de estas fases que puede ser eliminada es el ensamblaje, ya que es posible producir piezas completas e integrar mecanismos en las piezas producidas sin necesidad de montaje, calibrado o ajuste favoreciendo gratamente a la precisión. Todo ello, sumado a que al usar el material de forma exclusiva y no producir desechos, conduce a un considerable ahorro en los costes de producción y una producción más sostenible. Esta última característica define también esta revolución.

Como se puede observar, la Industria 4.0 ofrece una serie gran de ventajas y oportunidades. A raíz de esto, muchos otros países alinean sus esfuerzos y políticas para aprovechar las oportunidades que ofrece este nuevo escenario. En paralelo, y relacionado con este movimiento, en el ámbito de la fabricación, se promueven las ‘Fábricas del Futuro’, de las que hablaremos a continuación.

2.1.4 La Fábrica del Futuro

Las fábricas del futuro, fábricas inteligentes o “smart factories” merecen mención especial ya que pueden ser consideradas el motor de la Industria 4.0. Estas constituyen un “hogar”, un ecosistema, donde conviven la digitalización de extremo a extremo, los procesos y productos inteligentes, y las tecnologías habilitadoras (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013). Gracias a la convergencia de todos estos factores y una fusión entre el mundo virtual y el físico, veremos fábricas más autónomas y dinámicas en la que la gestión de stocks y, los procesos de producción serán más eficientes, rápidos, precisos y, sostenibles. En definitiva, se busca un modelo más inteligente de fabricación y producción que dé respuesta a los cambios del entorno en el que nos encontramos.

Como vemos, las fábricas inteligentes aportan numerosas ventajas pero también se presentan como un reto, ya que las fábricas se vuelven más complejas debido a los crecientes niveles de integración, funcionalidad y conectividad.

2.1.4.1 Características.

Según el informe ‘Fábrica del futuro, diseñada para progresar’, TecNALIA, y bajo las bases en las que se sustentan esta revolución industrial y la idea que se viene desarrollando a lo largo de este proyecto, las principales características de las fábricas inteligentes serán, una vez más, la conectividad, la flexibilidad, la inteligencia, la automatización y, el aspecto social. Véase la Figura 2.1.

La fábrica inteligente hace uso de las diferentes tecnologías digitales vistas en el apartado anterior; donde la

conectividad o interoperabilidad se tornan imprescindibles. Tradicionalmente, los elementos que constituían las plantas productivas se comportaban simplemente como bloques aislados. Sin embargo, en estas nuevas fábricas se implantan dispositivos interconectados gracias al IoT, que permiten la comunicación y el intercambio de información entre todos ellos; haciendo que ahora estos elementos actúen como nodos de red. El intercambio de información que realizarán será tanto del estado de los productos como de las máquinas y los procesos. Esta monitorización de los procesos permite que los trabajadores puedan crear nuevos patrones de trabajo, ajustar y controlar fácilmente los componentes gracias al análisis de la información que reciben actualizada en tiempo real. Así, en la nueva cadena de suministro inteligente y conectada, los flujos físicos se replican en imágenes virtuales a través de materiales y piezas equipados con sensores, mientras que los sistemas ciber-físicos generan datos a lo largo de esta sobre su posición y estado. De esta forma podemos ver como la digitalización permite automatizar los procesos e identificar al producto a lo largo de toda la cadena. La visibilidad de los movimientos en la red de suministro trae consigo el beneficio de que ahora se pueden reconocer ineficiencias y riesgos, aumentar la robustez, la capacidad de respuesta a incidencias y la fiabilidad. A su vez, la digitalización de estas fábricas resulta muy útil también porque permite que la información sea accesible a todos los trabajadores gracias al almacenamiento en la nube; facilitando de esta forma tanto la forma de acceder a los datos como al traspaso de estos entre los distintos departamentos que conforman la empresa. Según el estudio anteriormente mencionado, la productividad de las fábricas puede aumentar en un 20% gracias a una mejor gestión de sus mecanismos de intercambio de información.

En cuanto a la flexibilidad, las fábricas convencionales están en su mayoría pensadas para elaborar un producto estándar en serie y se enfrentan a dos problemas: un exceso de capacidad productiva por encima del nivel de demanda y, la imposibilidad de atender a las peticiones de variantes del producto estándar a unos costes razonables. Es por ello, por lo que los fabricantes ahora buscan crear cadenas de suministro completamente integradas que se adapten dinámicamente a los requisitos y a la demanda de los proveedores y consumidores. Esto incluye también la capacidad de anticiparse y tomar medidas correctivas en términos de ajustes de producción en tiempo real. Para ello, se diseñan los sistemas de fabricación de manera que las áreas de producción, las máquinas, las plantas y los procesos logísticos, puedan ser cambiadas y reajustadas a menudo; es decir, que puedan reaccionar velozmente en el caso de cambios ya sean estos previstos o imprevistos. Esta flexibilidad puede ser adaptada en dos sentidos: en el primero, hablamos de la flexibilidad de la máquina, la cual explica la capacidad que posee el sistema para ser cambiada en el orden de producir nuevos tipos de productos; así como, cambiar el orden de las operaciones que se ejecutan para fabricar una pieza si así fuese necesario; es decir, la capacidad de reconfiguración. Por otro lado, la flexibilidad de asignación consiste en la capacidad de usar varias máquinas para realizar la misma operación, así como la capacidad que tiene el sistema para absorber cualquier cambio que se produzca a gran escala; lo que podría ser entendido como modularidad.

La conectividad y la flexibilidad dan paso al tercer factor clave de estas fábricas: la inteligencia. Los elementos inteligentes se caracterizan por disponer de electrónica, software y conectividad, lo que hace que todos los objetos conectados tengan la capacidad de comunicación máquina a máquina (M2M) e interacción con los trabajadores; de los que solo precisarán atención cuando requieran mantenimiento, el cual serán capaces de notificar y además ayudar al trabajador en su programación y puesta a punto. Lo más importante de todo esto es que se les dota a objetos inanimados capacidad de autogestionarse y autonomía de decisión, lo que lleva a la descentralización, nuevo término en el que se basan estas industrias. Así, los sistemas de producción en los que había un control centralizado y un tratamiento individualizado e independiente de los dispositivos van a desaparecer, dando lugar a sistemas donde la toma de decisiones será ejecutada por los sistemas ciber-físicos, gracias a la ayuda de modelos predictivos.

De nuevo, hay que volver a mencionar la automatización. La robotización en las fábricas incrementa la velocidad y la repetitividad en los procesos, liberando a los operarios de estas fábricas de las tareas más repetitivas y tediosas. Al mismo tiempo, superan las restricciones ergonómicas lo que mejora la productividad de las plantas. Esta automatización, unida a la inteligencia artificial, favorece la coordinación de las tareas de producción.

Siguiendo el pensamiento anterior, uno de los más importantes profesionales del management afirma lo siguiente: *"La fábrica del futuro tendrá dos empleados: un humano y un perro. La labor del humano será la de dar de comer al perro y la del perro, evitar que el humano toque los sistemas automatizados"* Warren Bennis, 2014. Sin embargo, considero que esta afirmación es bastante exagerada ya que, si bien es cierto que se pretende una independencia total de mano de obra humana en la producción, el conocimiento de los trabajadores y su capacidad para innovar están tomando cada vez mayor en este sector. Así que algo que no ha cambiado en esta revolución es que las personas siguen siendo el mayor valor dentro de las fábricas; ya que son ellos quienes

conocen las necesidades, conceptualizan y diseñan productos; aunque sí es cierto que se valdrán de las máquinas para encontrar soluciones a los problemas de manera más rápida.

Por último, cabe destacar que las "smart factories" son la respuesta en cuanto a tácticas para evitar el impacto ambiental en el sector industrial se refiere. Las tecnologías emergentes están permitiendo a las empresas la sostenibilidad como nunca, gracias al uso racional de los recursos y la energía, así como por el uso de sistemas que disminuyen la propensión a la interrupción.

En definitiva, la convergencia de todas estas características conduce a fábricas que serán capaces de gestionar mayores niveles de complejidad, derivados de la completa integración de las tecnologías tanto de manera vertical como horizontal. La integración vertical asegura la integración desde el departamento de producción a los departamentos de administración o gestión, para apoyar la recolección de datos y el flujo de datos a través de los dispositivos y la nube basada en plataformas IoT. Dichos datos pueden ser aprovechados para construir aplicaciones adicionales para apoyar los servicios inteligentes; lo que conlleva a que las organizaciones puedan ser más independientes frente a terceros que participan en las fases del proceso de producción del producto. Uno de los requisitos clave para las plataformas de IoT es el hecho de tener un gemelo digital de los activos físicos. Este gemelo digital es el elemento fundamental que soporta la integración horizontal a través de la cadena de valor y a través de las plataformas; lo que permite que las empresas se vuelvan más competitivas y puedan llegar a adquirir cierto posicionamiento y dominio en el mercado, aprovechando mejor los recursos tanto tecnológicos como humanos. Tal y como explica Henning Kagermann en su estudio 'The digital transformation of manufacturing industries'

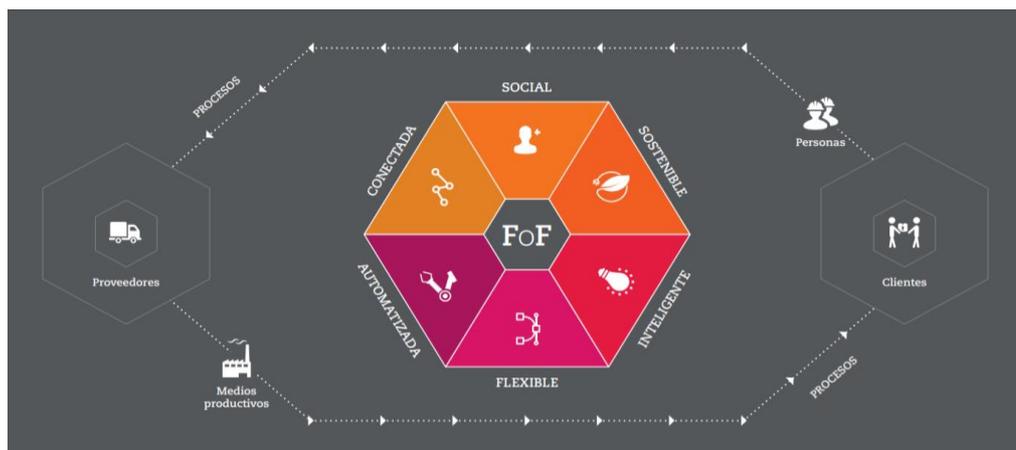


Figura 1. Estructura de la Fábrica del Futuro

Fuente: Tecnalia.

2.2 La industria 4.0 en España

Según el informe 'Smart Factories' publicado en 2017 por Capgemini, empresa líder en servicios de consultoría tecnológica; las empresas con actividad productiva estiman que, gracias a sus inversiones en digitalización la productividad de sus plantas crecerá un 27% en los próximos cinco años, lo que aportaría una aportación de 500000 millones de dólares a la economía mundial. En este apartado, analizaremos como de cierto será esto en las industrias españolas, qué cambios puede suponer la digitalización para nuestras empresas y cuáles son los retos a los que nos enfrentamos.

2.2.1 Entorno y contexto

Como se desarrolló en el apartado anterior, las fábricas inteligentes nacen como respuesta a los desafíos socioeconómicos emergentes, que obligan a reinventar los modelos tradicionales de producción. Pasaremos a ver las condiciones que han dado lugar a este desarrollo.

Al encontrarnos bajo el escenario de la Cuarta Revolución Industrial, cada vez hay una mayor disponibilidad de nuevas tecnologías. La penetración de ellas dentro de la industria está haciendo que las fábricas que se están acogiendo a ellas estén desarrollando aplicaciones y herramientas de manera masiva, impensables hasta ahora. En el pasado congreso Advanced Factories que se celebró a principios de marzo de este mismo año en Barcelona, la tecnología española se situó en el puesto número 6 en materia de industria tecnológica. Tal como confirma el informe sobre la Situación del Sector Tecnológico Europeo, elaborado por el grupo inversor británico Atomico, la tecnología europea ha tenido un crecimiento continuo y sólido durante todo 2019, reafirmando su posición en la economía mundial. Sin embargo, cuando este estudio se publicó, España se encontraba en el "Top 5", descendiendo un puesto este año, quizá porque tal y cómo demuestran varios estudios, España fue el único de estos cinco países que frenó la inversión en empresas tecnológicas; aunque podría deberse a muchos otros factores. Se podrá comprobar más adelante, ya que según la consultora IDC Research España, esta inversión alcanzará un crecimiento del 2.1% hasta 2022; cuando podremos ver si esta inversión iba ligada de manera proporcional al desarrollo tecnológico. Pese a todo, cuatro de cada diez empresas españolas ya se encuentran completamente digitalizadas, lo que muestra que esta revolución está siendo bastante bien consolidada en nuestro país y no sabemos el alcance que puede llegar a tener; empezando a hablar algunos expertos incluso de una posible quinta revolución industrial.

Otro factor que ha sido determinante para la eclosión de la Industria 4.0 es la escasez tanto de recursos y materias primas a la que hacemos frente globalmente. Ante esta situación, la eficiencia se vuelve clave para hacer frente a este problema y aprovechar al máximo los pocos recursos de los que disponemos. Así, la aplicación de las tecnologías ya mencionadas a los procesos productivos los hará más eficientes, optimizando recursos energéticos y materias primas. A su vez, la incorporación de estas tecnologías a los productos ya existentes mejorará sus funcionalidades y propiciará la aparición de nuevos productos. Estos aspectos son de vital importancia ya que, un informe de la Comisión Europea alerta de que las materias primas necesarias para desarrollar alta tecnología puntera podrán ver su demanda triplicada en menos de diez años, lo que sumado a la escasez de estas supondrá un gran desafío tanto económico como ambiental. Por último, la Industria 4.0 posibilita la aparición de nuevos modelos de negocio o la economía colaborativa, que ayudan a reducir el impacto ambiental que ya de por sí tiene la actividad comercial.

Por otra parte, desde que la economía mundial entró en recesión tras la Segunda Guerra Mundial se ha ido viendo como el modelo de organización de la industria propuesto por Henry Ford-la producción en cadena y la línea de montaje- si bien muy exitoso en su época, está obsoleto. Este modelo fue el resultado del principio de la división del trabajo, delegando a cada trabajador de la plantilla una función muy específica, especializada y de gran simplicidad en ámbitos concretos de la propia fábrica. Esto derivó en que los trabajadores industriales no necesitaban más cualificación que la de la propia práctica laboral. Pero debido a los avances en la automatización industrial que hay actualmente, esta figura de operario es cada vez menos útil dentro de las empresas. Es necesario trabajadores polivalentes, que posean unos conocimientos básicos amplios y frecuente reciclaje. En este marco, se va configurando un nuevo modelo de organización industrial que es el que da lugar a las fábricas inteligentes, el modelo de fabricación flexible; apoyado en la tecnología de base electrónica, las nuevas tecnologías de comunicación y la descentralización productiva; no es más que una consecuencia de la aplicación al factor trabajo de los criterios de flexibilidad.

Por último, España es uno de los países con mayor esperanza de vida no solo de Europa, sino del mundo, solo por detrás de Suiza y Japón y; bajo un estudio del Institute for Health Metrics and Evaluation de Washington, se demuestra que en varios años podría colocarse a la cabeza. Esto, unido a unas tasas de natalidad y mortalidad bajas hacen que España presente una pirámide poblacional regresiva, como puede verse en la siguiente figura. Si a todo ello le sumamos la jubilación tardía, la sociedad española presenta un envejecimiento paulatino de los trabajadores lo que indudablemente llevará a una reducción de la eficiencia de los trabajos físicos. Así, tal y como pasó en la Revolución Industrial con la introducción de herramientas que dieron paso a la tracción animal en vez de la humana; en esta cuarta revolución, el paso se dará con la automatización, dejando que máquinas y robots realicen las tareas librando así a los trabajadores de ellas y consiguiendo una eficiencia máxima.

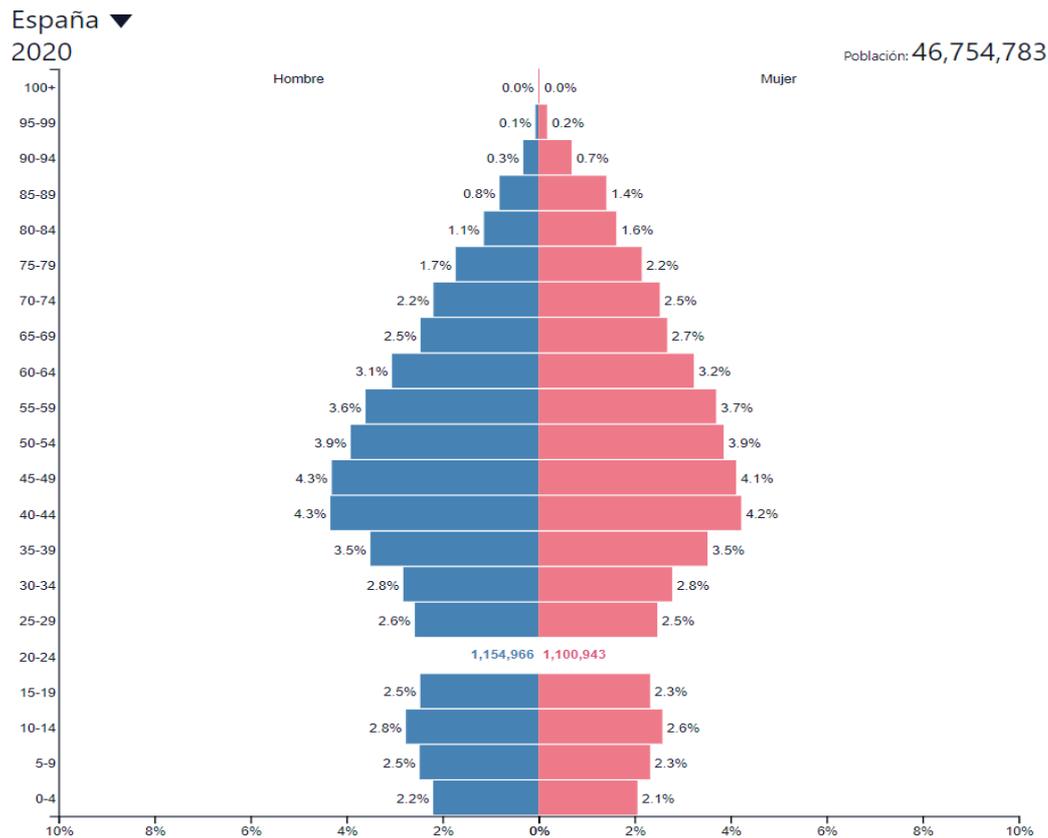


Figura 2. Pirámide poblacional de España en 2020

Fuente: populationpyramid.net

2.2.2 Horizonte 2020

En el año 2014, la Unión Europea lanzó el ambicioso plan ‘Horizonte 2020’, con un presupuesto de 80 000 millones de euros y, su principal objetivo es asegurar la competitividad global de Europa, produciendo ciencia y tecnología de talla internacional capaz de impulsar el crecimiento económico. Así, se enfoca en torno a tres áreas principales: ‘Ciencia excelente’, ‘Liderazgo industrial’, y ‘Retos de la sociedad’.

Al igual que pasaba en las fábricas, la innovación y la introducción de las tecnologías facilitadoras clave en todos los ámbitos de la sociedad es primordial para el futuro de Europa. Debido a esto, el fomento de la innovación y la investigación serán la piedra angular de este proyecto, lo que llevará a cumplir los objetivos ya propuestos en la Estrategia Europa 2020, garantizar el crecimiento sostenible, inteligente e integrador.

En cuanto a la industria, se estableció que este año el PIB proveniente del sector industrial debía ser de, al menos el 20%. Para conseguir estos resultados, el programa persigue estimular la investigación y la innovación en el sector privado a través de tres iniciativas. En primer lugar, financiando actividades relacionadas con el desarrollo tecnológico, la demostración y la innovación en las tecnologías habilitadoras- la microelectrónica y la nanoelectrónica, la fotónica, la nanotecnología, la biotecnología, los materiales avanzados y los sistemas de fabricación avanzados-en mayor parte, a los proyectos que las empleen de manera transversal y multidisciplinar. Esto cobra bastante importancia ya que se estima que por cada euro que la Unión Europea invierte en ellas, se generan 13 euros de valor añadido para las empresa; entendiendo valor añadido como Por otra parte, mejorando el acceso a la financiación de riesgo con el fin de solventar las dificultades que tienen en la actualidad las empresas para acceder a la financiación de actividades de investigación e innovación; poniendo en marcha dos mecanismos: el mecanismo de deuda y el mecanismo de capital. Por último, se desea fomentar la innovación en las PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas), para poder así acabar con la brecha entre ellas y las grandes que, debido a la mayor inversión de capital que pueden realizar se encuentran ya en la actualidad casi digitalizadas

Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción13
en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

por completo.

Este esfuerzo por invertir, en resumen, en la Industria 4.0 viene respaldado por varios informes que ya anticipan sus efectos positivos en el conjunto de la economía no solo internacional, sino también, española.

Según el Plan Digital 2020 de la CEOE, publicado en 2017, "España debe sumarse al conjunto de países europeos que lideran la digitalización, debiendo acelerar este proceso para intentar situarse entre los primeros veinte puestos del índice NRI-Networked Readiness Index y entre los 10 primeros del DESI-Digital Economy and Society Index. Alcanzar este objetivo de digitalización en el año 2020 implicaría que el PIB de ese año sería un 3.2% mayor y que se crearían 250 000 empleos adicionales" Los índices anteriores se han seleccionado debido a que ya existían lo que permite la comparación con otros países, habiendo referencia el primero a la competitividad en el ámbito global y el segundo, al ámbito europeo.

Los últimos estudios arrojan los siguientes resultados sobre el posicionamiento de España respecto a dichos índices:

Rank	Country/Economy	Score	Income group	Region
1	Sweden	82.65	High income	Europe
2	Singapore	82.13	High income	Asia & Pacific
3	Netherlands	81.78	High income	Europe
4	Norway	81.30	High income	Europe
5	Switzerland	81.08	High income	Europe
6	Denmark	81.08	High income	Europe
7	Finland	80.34	High income	Europe
8	United States	80.32	High income	The Americas
9	Germany	78.23	High income	Europe
10	United Kingdom	77.73	High income	Europe
11	Luxembourg	77.46	High income	Europe
12	Japan	76.17	High income	Asia & Pacific
13	Australia	74.80	High income	Asia & Pacific
14	Canada	74.72	High income	The Americas
15	Austria	74.36	High income	Europe
16	New Zealand	73.97	High income	Asia & Pacific
17	Korea (Republic of)	73.84	High income	Asia & Pacific
18	France	73.42	High income	Europe
19	Ireland	73.29	High income	Europe
20	Belgium	72.62	High income	Europe
21	Iceland	71.94	High income	Europe
22	Israel	70.86	High income	Europe
23	Estonia	69.30	High income	Europe
24	Hong Kong (China)	68.14	High income	Asia & Pacific
25	Spain	68.01	High income	Europe
26	Malta	66.94	High income	Europe
27	Slovenia	66.89	High income	Europe
28	Portugal	65.56	High income	Europe
29	United Arab Emirates	65.45	High income	Arab States
30	Czech Republic	65.09	High income	Europe
31	Lithuania	64.13	High income	Europe
32	Malaysia	63.76	Upper-middle income	Asia & Pacific
33	Qatar	63.73	High income	Arab States
34	Italy	63.21	High income	Europe
35	Slovakia	61.95	High income	Europe
36	Cyprus	61.57	High income	Europe
37	Poland	61.46	High income	Europe
38	Hungary	59.95	High income	Europe
39	Latvia	59.31	High income	Europe
40	Bahrain	58.73	High income	Arab States
41	China	57.63	Upper-middle income	Asia & Pacific
42	Chile	57.38	High income	The Americas
43	Greece	57.07	High income	Europe
44	Croatia	56.75	High income	Europe
45	Saudi Arabia	56.49	High income	Arab States
46	Uruguay	56.04	High income	The Americas
47	Romania	55.47	Upper-middle income	Europe
48	Russian Federation	54.98	Upper-middle income	CIS
49	Bulgaria	54.77	Upper-middle income	Europe
50	Costa Rica	54.59	Upper-middle income	The Americas
51	Turkey	53.75	Upper-middle income	Europe
52	Serbia	53.65	Upper-middle income	Europe
53	Mauritius	53.40	Upper-middle income	Africa
54	Kuwait	53.39	High income	Arab States
55	Oman	52.87	High income	Arab States
56	Thailand	51.54	Upper-middle income	Asia & Pacific
57	Mexico	51.44	Upper-middle income	The Americas
58	Argentina	51.27	Upper-middle income	The Americas
59	Brazil	51.07	Upper-middle income	The Americas
60	Kazakhstan	50.68	Upper-middle income	CIS
61	Belarus	50.34	Upper-middle income	CIS
62	Armenia	49.84	Upper-middle income	CIS
63	Viet Nam	49.57	Lower-middle income	Asia & Pacific
64	Trinidad and Tobago	49.29	High income	The Americas

Figura 3. Networked Readiness Index,2019

Fuente: <https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/2020/03/The-Network-Readiness-Index-2019-New-version-March-2020-2.pdf>

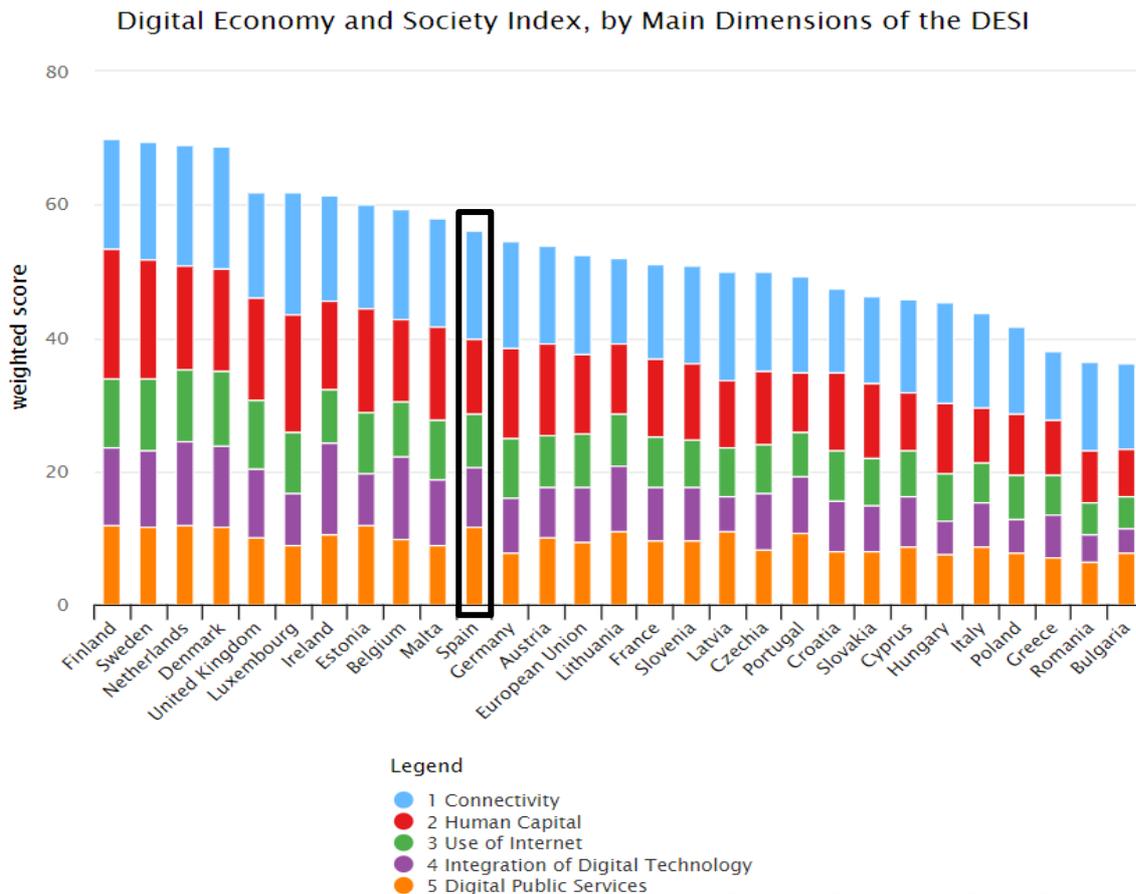


Figura 4. Digital Economy and Society Index, 2019

Fuente: European Commission

Ante la vista de estos datos, España se encuentra en la posición número veinticinco respecto al NRI, véase la figura 3, ante la veinteava deseada y, el undécimo puesto en cuanto al DESI, véase la figura 4, a una posición de entrar en el 'Top 10' como se perseguía. Visto así, podría parecer que el plan ha fracasado y que no se han cumplido los objetivos, pero conviene echar un vistazo atrás, antes de que se iniciaran estas iniciativas para ver la evolución, lo que aportará una visión más objetiva de todo el proceso.

Así, analizando los datos de 2014, año en que se planeó el Programa Horizonte 2020, veáanse las figuras 5 y 6, podemos observar un progreso de la industria española con respecto a estos índices. Así, en cinco años remonta nueve posiciones en la posición global y, dos en el ranquin europeo, consiguiendo ponerse por delante de países referentes en este ámbito como Alemania. El avance tan pronunciado en el ranquin global respecto al europeo puede deberse al éxito de este programa, que ha conseguido no solo que España, sino que todos sus países aumenten su competitividad; por lo que ocho de los 10 mejores países de todo el mundo en 2019 son europeos. Un logro no fácil debido a que como efecto colateral de la globalización es que las empresas se enfrentan a una mayor variedad de competidores, lo que hace más difícil que destaquen incluso registrando las mismas una mejora constante, tal y como explica Paul Boris, vicepresidente de Industrias Manufactureras de GE Digital.

La mejora presentada se debe a un rendimiento superior en dos de las dimensiones que mide el DESI, la conectividad y los servicios públicos digitales. España obtiene buenos resultados en conectividad, gracias a la amplia disponibilidad de redes de banda ancha fija y móvil rápidas y ultrarrápidas y al aumento de su implantación. Presenta como fortaleza también la Integración de Tecnología Digital. Sin embargo, en lo referente al capital humano, la puntuación es más baja que la media de la Unión Europea; alrededor de la quinta parte de los ciudadanos españoles aún no están conectados y cerca de la mitad de la población sigue careciendo de las competencias digitales básicas; según la Comisión Europea. Esto último, supone un gran reto para la introducción de la Industria 4.0 en España y se analizará con detenimiento en el siguiente apartado.

Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción15
 en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

Rank	Country/Economy	Value	2013 rank (out of 144)	Rank	Country/Economy	Value	2013 rank (out of 144)
1	Finland	6.04	1	33	Portugal	4.73	33
2	Singapore	5.97	2	34	Spain	4.69	38
3	Sweden	5.93	3	35	Chile	4.61	34
4	Netherlands	5.79	4	36	Slovenia	4.60	37
5	Norway	5.70	5	37	Cyprus	4.60	35
6	Switzerland	5.62	6	38	Kazakhstan	4.58	43
7	United States	5.61	9	39	Latvia	4.58	41
8	Hong Kong SAR	5.60	14	40	Oman	4.56	40
9	United Kingdom	5.54	7	41	Puerto Rico	4.54	36
10	Korea, Rep.	5.54	11	42	Czech Republic	4.49	42
11	Luxembourg	5.53	16	43	Panama	4.36	46
12	Germany	5.50	13	44	Jordan	4.36	47
13	Denmark	5.50	8	45	Brunei Darussalam	4.34	57
14	Taiwan, China	5.47	10	46	Croatia	4.34	51
15	Israel	5.42	15	47	Hungary	4.32	44
16	Japan	5.41	21	48	Mauritius	4.31	55
17	Canada	5.41	12	49	Azerbaijan	4.31	56
18	Australia	5.40	18	50	Russian Federation	4.30	54
19	Iceland	5.30	17	51	Turkey	4.30	45
20	New Zealand	5.27	20	52	Montenegro	4.27	48
21	Estonia	5.27	22	53	Costa Rica	4.25	53
22	Austria	5.26	19	54	Poland	4.24	49
23	Qatar	5.22	23	55	Barbados	4.22	39
24	United Arab Emirates	5.20	25	56	Uruguay	4.22	52
25	France	5.09	26	57	Macedonia, FYR	4.19	67
26	Ireland	5.07	27	58	Italy	4.18	50
27	Belgium	5.06	24	59	Slovak Republic	4.12	61
28	Malta	4.96	28	60	Georgia	4.09	65
29	Bahrain	4.86	29	61	Mongolia	4.07	59
30	Malaysia	4.83	30	62	China	4.05	58
31	Lithuania	4.78	32	63	Colombia	4.05	66
32	Saudi Arabia	4.78	31	64	Indonesia	4.04	76

Figura 5. Networked Readiness Index, 2014

Fuente: World Economic Forum

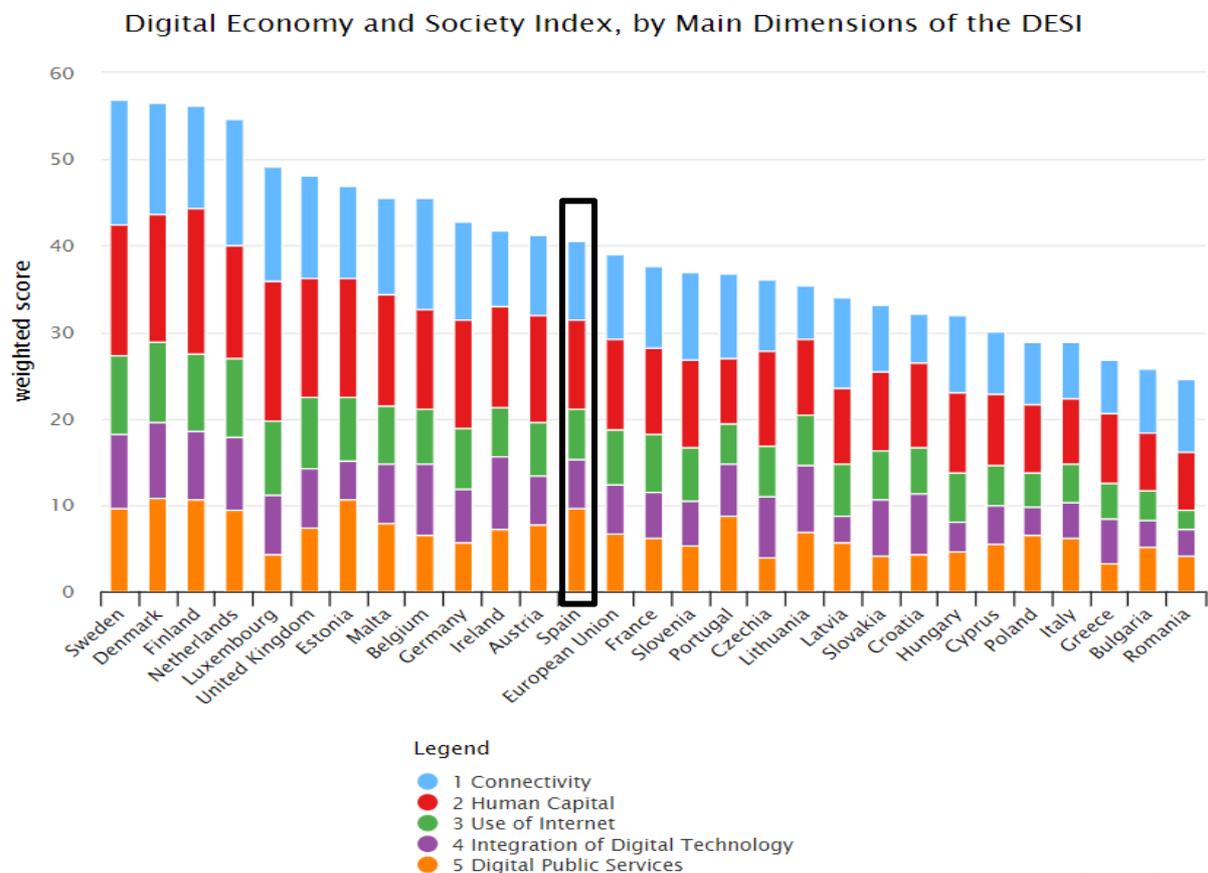


Figura 6. Digital Economy and Society Index, 2014

Fuente: European Commission

2.2.3 Retos

Con vistas al futuro, Siemens presenta el informe ‘España 4.0. El reto de la transformación digital de la economía’, donde presenta la oportunidad de la digitalización. Según Rosa García, presidenta de Siemens en España, la transformación digital podría implicar un crecimiento de 120 000 millones de euros sobre el VAB-Valor Añadido Bruto- en los sectores analizados para el año 2025.

Es por informes como el anterior y por muchos más que presentan los mismos resultados: la necesidad de acogida lo antes posible a los cambios tecnológicos para optimizar y mejorar la productividad de la empresa, entendiendo la gran velocidad a que avanza la transformación industrial. Así, las inversiones en fábricas inteligentes se están multiplicando y la mayoría de las empresas ya han realizado inversiones considerables en las mismas. Sin embargo, de acuerdo con un estudio realizado por la consultora Capgemini, solo un 6% de aquellas que han invertido se encuentran en un nivel avanzado de digitalización; lo que revela que la transformación industrial

De igual forma, existe en España un importante gap de madurez digital. Asu vez, se observa que esta reactividad a los usos digitales está muy relacionada con el contexto y la naturaleza de la actividad que desarrollen los distintos sectores. Esto se puede ver en el siguiente gráfico, elaborado por Roland Berger, una firma de consultoría estratégica a nivel mundial. En él, observamos que este gap es bastante grande en todos los casos. Resulta curioso como en la industria, el sector en el que la digitalización se percibe con mayor efecto positivo a producción y a la contratación de empleados sigue teniendo un gap tan considerable como del 45%, si bien el más pequeño entre todos los sectores. A continuación, pasaremos a analizar cuáles son las causas que lo provocan con los consiguientes retos que ello supondrá.

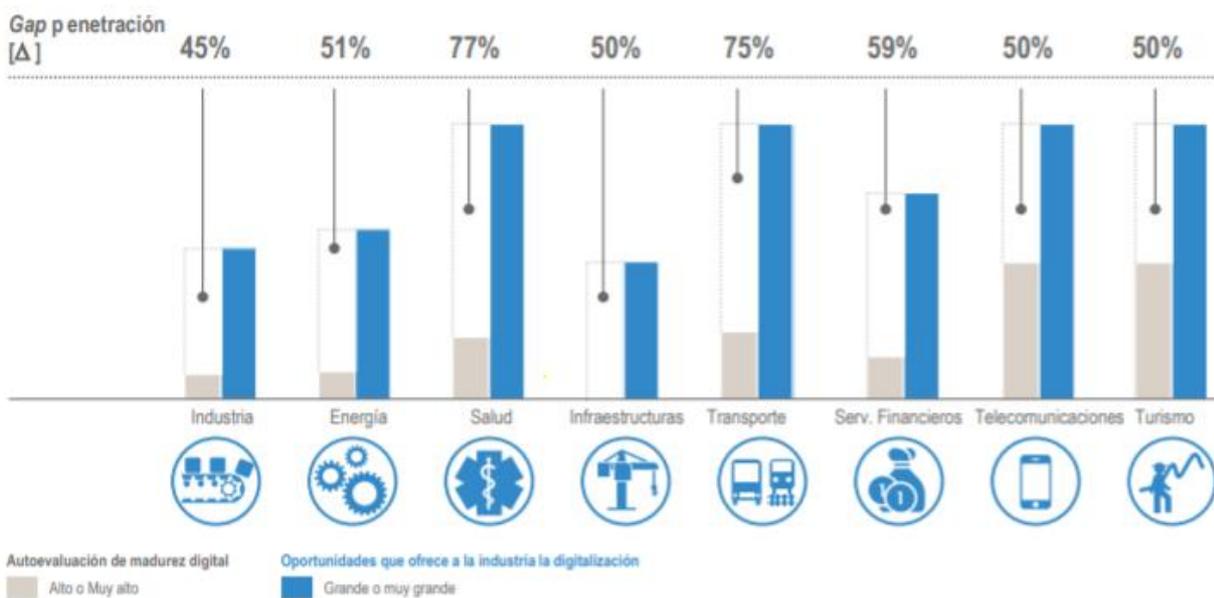


Figura 7. Gap de penetración digital

Fuente: Roland Berger- Cuestionario de digitalización.

A lo largo del despliegue de la Industria 4.0, se podrían presentar cuatro retos como principales en el proceso de digitalización: i) el necesario cambio de la cultura empresarial de las organizaciones industriales que debe acompañar a la transformación digital; ii) la formación y la capacitación en competencias digitales, iii) el desarrollo de entornos colaborativos; y iv) el apoyo a todas las empresas, especialmente pequeñas y medianas, en su proceso de transformación digital. (ICE, La economía digital en España, 2017)

Indudablemente, la cultura organizacional de las empresas es el elemento determinante en los cambios y progresos que estas experimenten, pero es a la vez también el principal obstáculo para la adopción de las nuevas tecnologías. Tras encuestas realizadas a empresas de automoción, aeronáutica, química, textil y bienes de equipo se concluye que la totalidad de estas empresas considera que la productividad aumenta con la digitalización. Sin

embargo, esta ventaja competitiva se percibe de manera muy heterogénea, aunque todos crean que ofrece ventajas sólo un tercio considera que estas puedan ser muy grandes. Donde más se percibe la resistencia al cambio es por parte de la gestión de las empresas, ya sea por el choque generacional o simplemente por el cambio cultural que esto supone. Hay que recordar que la cultura digital no se basa simplemente en la introducción de las nuevas tecnologías, sino que es muy diferente a la tradicional en exigencias de flexibilidad, adaptabilidad y agilidad. Como expone Luis Zarazua, director de Distribución Eléctrica en España en gas natural, “es de gran importancia distinguir entre la innovación técnica, y la innovación de modelo de negocio. Se tiende a confundir ambas, o dejar la innovación del modelo de negocio de lado, con los riesgos que esto supone. Es un error focalizarse en la tecnología, sin pensar en absoluto en el modelo de negocio asociado”. Esto es lo que está ocurriendo en muchas de las empresas españolas, hay una clara falta de coordinación dentro de las compañías y no hay una hoja de ruta clara. Así que, para que el cambio tenga lugar es necesario empezar comprendiendo este; pero no solo bastará con entenderlo, sino que es necesario que los directivos empiecen a tomar decisiones que permitan que sus empresas avancen en este proceso de digitalización.

Por otro lado, una de las dudas que plantea esta digitalización, es el número de puestos de trabajos que se verán afectados. Bajo esta premisa surge el estudio realizado por Randstad Research, ‘La digitalización: ¿Crea o destruye empleo?’ Parece que la respuesta es que creará empleo, ya que en él se estima que España podría generar un potencial de 1 250 000 empleos hasta 2022 en materia STEM, acrónimo que agrupa las áreas de conocimiento de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas y; todos los empleos indirectos surgidos a partir de los anteriores. Es en este contexto, se observa como crecerá el empleo de las industrias, pero para ello será necesaria la formación tanto de operarios como empleados, ya que el modelo tradicional de fábrica que conocíamos ha cambiado y ahora se necesita una mano de obra más cualificada y con mayor capacidad en competencias digitales. Si no se produce esta reinversión, es cierto que muchas de estas personas perderán su empleo, el cual se verá reemplazado por sistemas digitales. Es por ello, por lo que la formación en estas competencias se convierte en un reto para España; siendo la alta tasa de desempleo alcanzando casi el 14%, todavía hay más de 10 000 vacantes en el sector tecnológico, según una encuesta realizada por la patronal de empresas tecnológicas DigitalES. Vacantes que se estima que sigan creciendo no solo debido al impacto que está teniendo la Industria 4.0 en nuestro país sino a la falta de vocación. Tal y como vemos en la siguiente tabla, el número de alumnos matriculados en grados y ciclos de la rama tecnológica tales como la rama de ingeniería y arquitectura y, la de ciencia han descendido de manera considerable, teniendo ambas tasas de variación negativas y, siendo estas las mayores entre los cursos 2002-3/2017-18.

	Curso académico						Tasa de variación		
	2002-03	2012-13	2016-17	2017-18 ⁽¹⁾			Anual	2017-18 / 2012-13	2017-18 / 2002-03
				Total	Univ. públicas	Univ. privadas			
Total	1.503.476	1.434.729	1.303.252	1.291.144	1.098.184	192.960	-0,9%	-10,0%	-14,1%
Rama de enseñanza⁽²⁾									
Ciencias Sociales y Jurídicas	724.117	680.759	605.787	605.176	501.195	103.981	-0,1%	-11,1%	-16,4%
Ingeniería y Arquitectura	410.378	316.670	244.395	231.335	212.655	18.680	-5,3%	-26,9%	-43,6%
Artes y Humanidades	139.442	138.437	130.836	130.801	120.948	9.853	0,0%	-5,5%	-6,2%
Ciencias de la Salud	115.963	215.318	241.542	242.376	184.516	57.860	0,3%	12,6%	109,0%
Ciencias	113.576	83.545	80.692	81.456	78.870	2.586	0,9%	-2,5%	-28,3%

Figura 8. Evolución del número de estudiantes matriculados en Grado y 1^{er} y 2^o Ciclo por rama de enseñanza.

Fuente: Ministerio de Ciencia e Innovación.

No siendo objeto de nuestro estudio los factores que propician esta falta de vocación, sí debemos volver a recalcar la importancia que estas ramas están adquiriendo en el mercado laboral por lo que serán necesarios planes que fomenten estos sectores. Pero no solo será de vital importancia la formación en estas ramas, sino además en profesiones que hoy en día desconocemos ya que, se estima que muchos de los estudiantes que se encuentran en sus primeros años de secundaria se dedicarán en un futuro a empleos que no existen hoy en día. Lo que sí se sabe, es que el perfil del futuro debe tener competencias en el trabajo colaborativo y en equipo, la resolución de problemas, el razonamiento analítico, la capacidad de buscar, filtrar y priorizar información, y de tomar decisiones. Así, no todas las competencias requeridas serán técnicas sino también sociales y analíticas.

En cuanto al desarrollo de entornos colaborativos, nos referimos a sistemas que organizan y estimulan la influencia recíproca entre los diferentes integrantes de un grupo con el objetivo tanto de maximizar el aprendizaje continuo tanto individual como colectivo a su vez. Este cambio, deberá producirse tanto dentro de la propia empresa como fuera de ella. Es decir, frente a las concepciones empresariales tradicionales, se ha de producir un rediseño de la clásica pirámide jerárquica; volviéndose así las empresas más horizontales. Pero esta tendencia también se deberá hacer extensible a la colaboración entre distintos sectores, en este caso la fusión de la industria, el sector tecnológico y el ámbito investigador-académico será de vital importancia. Con todos los desafíos que plantea esta Cuarta Revolución Industrial, ninguna empresa será capaz de afrontar el cambio por sí misma, independientemente de su tamaño o sector; es necesaria la colaboración e integración a través de toda la cadena de valor. Para que esta colaboración resulte efectiva, hay que tomar medidas estándares y una legislación acorde. Además, debido a estos entornos colaborativos las empresas están más abiertas, es decir, más visibles y vulnerables a riesgos. Es por ello por lo que también será de suma importancia que no haya fuga de datos ni de información y que se mantenga siempre la confidencialidad, protegiendo la propiedad intelectual.

Para afrontar esto último, es esencial invertir en Ciberseguridad; en este nuevo entorno en el que nos encontramos el desarrollo de los avances en seguridad deberá desarrollarse en paralelo a los avances tecnológicos, para que estos nunca queden desprotegidos. La Ciberseguridad Industrial se define como el conjunto de prácticas, procesos y tecnologías, diseñadas para gestionar el riesgo del ciberespacio derivado del uso, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información utilizada en las organizaciones e infraestructuras industriales, utilizando las perspectivas de personas, procesos y tecnologías. Solo en el año 2018 se registraron en España más de 33000 ataques cibernéticos hacia empresas de interés estratégico y del sector público; siendo la mayor vulnerabilidad de las mismas los dispositivos conectados a IoT: El caso más preocupante se da en la industria, donde no resulta fácil ver que, al vulnerar las tecnologías de operación, automáticamente se están vulnerando también las tecnologías de la información; debido a que no es fácil concebir que las máquinas estén conectadas a sistemas de red. Pero como hemos dicho, al atacar las máquinas, ya se habrá podido atacar a todo el sistema. Por lo que no basta simplemente con sistemas de seguridad que detecten el ataque, sino que, estos deberán ser proactivos y estar diseñados para ser capaces de identificar, proteger, detectar, responder y, por último, recuperar. (Marco NIST)

Por último, será necesario apoyar a todas las empresas a lo largo de este proceso de digitalización. Tras los últimos datos aportados por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo el pasado enero en cuanto al número de empresas, podemos conocer como dentro del sector industrial se encuentran el 6.10% del total de estas; pero que proporciona el 13.24% de empleo; mientras que el sector de los servicios mantiene su porcentaje en estos dos aspectos y en la agricultura y la construcción estos porcentajes disminuyen. Es por ello, por lo que se recalca la necesidad de apoyar a las empresas de este sector, siendo las que más empleo y puestos de trabajo generan, en proporción. Dentro de las mismas, el 99% de ellas son Pymes-Pequeñas y Medianas Empresas-, empresas de menos de 250 asalariados que representan un papel relevante en el proceso de industrialización y crecimiento en España. A diferencia de la industria anglosajona, a raíz de la cual se han producido las revoluciones industriales, el proceso de industrialización en España se ha producido tardíamente y de una manera muy distinta; concentrándose la misma en determinadas zonas especializadas y desarrollando productos de arraigo tradicional, lo que ha llevado al desarrollo de empresas de pequeña dimensión que realizan actividades de base local sin apenas inversiones en infraestructuras ni innovaciones radicales. A su vez, tras la crisis del fordismo y la progresiva diversificación del producto han consolidado el papel esencial de esta pequeña empresa y; el empuje de la demanda y la apertura a mercados exteriores ha hecho reforzar la necesidad de la innovación en las mismas con el objetivo de que se vuelvan competitivas.

El problema que encuentran estas empresas a la hora de innovar y digitalizarse es en primer lugar de tipo financiero, la mayoría coincide que el coste de la implementación de las nuevas tecnologías es el motivo fundamental por el que no pueden afrontar esta cuarta revolución industrial. Otras veces, esta incapacidad es de carácter técnico ya sea por desconocimiento o falta de capacidad o, por la resistencia al cambio como ya se comentó. Sin embargo, habiendo visto la relevancia que han tenido estas empresas en el desarrollo del tejido empresarial en España y los beneficios tan relevantes y cuantiosos que pueden traer consigo su digitalización, no podemos permitir que ninguna empresa quede fuera de este proceso de desarrollo. Para ello, el Gobierno de España elaboró el plan 'Industria Conectada 4.0'. En él se recogen distintas líneas estratégicas y fases áreas de acción con el fin de promover la puesta en marcha de la industria 4.0 y fortalecer el sector industrial. Bajo este plan y como punto de partida para las empresas, se ha creado la Herramienta de Autodiagnóstico Digital

Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción¹⁹
en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

Avanzada (HADA), con objetivo de dotar a las empresas de un instrumento con el que poder conocer el estado de digitalización en el que se encuentran y su situación respecto a otras organizaciones

Una vez conocido y analizado lo anterior, las empresas podrán elaborar una hoja de ruta con la que planificar el desarrollo e implantación de acciones y proyectos concretos. Para ayudar a las empresas en ese aspecto, dentro del plan ‘Industria Conectada 4.0’ surge el programa ‘ACTIVA Industria 4.0’; un programa de apoyo que permite a las empresas disponer de un plan de transformación que identifique la tecnología facilitadora clave en este proceso a través de un asesoramiento personalizado y especializado, realizado por consultoras especializadas y con experiencia en este terreno.

Por último, y una vez realizados los pasos anteriores, la Secretaría General de la Industria y de la Pyme ofrecerá financiación para la puesta en marcha de las soluciones necesarias encontradas en cuanto a la digitalización de cada empresa, para facilitar en medida de lo posible las inversiones que necesiten; eliminándoles así la primera barrera a la que se enfrentan en este proceso y acompañándolas para que puedan completar con éxito esta transformación digital.

A modo de conclusión, es necesario establecer que la transformación digital ya no es una opción estratégica que puedan tomar algunas empresas para sobresalir, sino que es una condición necesaria para la supervivencia de estas y un factor fundamental de la competitividad de la industria española; siendo esta la tendencia en el desarrollo industrial de los próximos años. Para ello, las medidas necesarias que habrá que tomar serán a nivel empresarial la definición de la estrategia y el cambio cultural, a nivel asociativo la coordinación y ejecución efectiva y a nivel administrativo, la correspondiente inversión y formación.

3 EL SECTOR AEROESPACIAL

En chino, la palabra «crisis» está compuesta por dos caracteres: uno significa peligro y el otro significa oportunidad.

- John F. Kennedy -

Debido a que este trabajo consiste en el desarrollo de un proyecto dentro de Airbus D&S, una de las empresas punteras en el sector aeroespacial, es conveniente basar un capítulo en la presentación del mismo. Debido a la gran dimensión de esta industria y a su complejidad productiva, se harán las definiciones y aclaraciones pertinentes con el objetivo de facilitar el entendimiento del lector.

Actualmente, son dos grandes empresas las que copan la mayor cuota de mercado: la norteamericana Boeing y la europea Airbus, concentrando entre ambas el 85% de la producción mundial. Resulta de interés identificar la importancia de esta última en el desarrollo de la industria aeroespacial en España. Así, para comprender completamente el contexto en el que se desenvuelve este proyecto será necesario analizar la situación actual de las mismas y analizar los hechos acaecidos durante los últimos meses que sin duda marcarán el rumbo de esta industria.

Son varios los hechos que propician que la producción esté tan concentrada y centralizada, tanto desde un punto de vista geográfico como empresarial. El primero de ellos, es el nivel tecnológico que requieren estas organizaciones tanto en el diseño como en la manufactura. Esto se manifiesta en la complejidad de la fabricación y en la multitud de disciplinas necesarias para la producción. A su vez, este sector se ve sometido a altísimas exigencias de calidad y certificación, así como la necesidad de empleo altamente cualificado, el cual requiere formación continua. A todo ello, se suma la necesidad de disponer de enormes recursos económicos ya que, al ser el ciclo de vida de los productos tan largos, se requiere una gran inversión y largos períodos tanto para el desarrollo de los productos como para obtener la compensación a dicha inversión.

Visto lo anterior, queda destacado que es muy difícil introducirse en este mercado con garantías. Es por ello, por lo que las industrias que quieran tanto hacerse un hueco como las que quieran destacar en este mercado deberán emplear tecnología punta y, hacer de la Industria 4.0 su piedra angular. Son numerosos los estudios que constatan lo anterior y señalan que ya se están poniendo en marcha iniciativas de fábricas inteligentes y empleando tecnología digital para abrir estos negocios a la innovación industrial. Es debido a esto por lo que dentro de los sectores que lideren esta transición se encuentran el aeroespacial y el de defensa. En este sentido, analizaremos los cambios que ya ha sufrido este sector debido a la transformación digital, así como los pasos a seguir y retos futuros para llegar a ser pioneros de la Cuarta Revolución Industrial.

3.1 El sector aeroespacial

El sector aeroespacial podría definirse como la industria que se ocupa del diseño, fabricación, comercialización y mantenimiento tanto de aeronaves, relativos a la parte “aeronáutica”, como de naves espaciales y cohetes, de la parte “espacial”; así como de sus sistemas, equipos asociados, cadenas de suministro y servicios de mantenimiento. Cuando nos referimos a aeronaves, estamos hablando desde aviones o helicópteros hasta vehículos aéreos no tripulados o misiles. En cuanto a sus equipos específicos asociados, ambas tienen un núcleo tecnológico centrado en la aerodinámica, los sistemas de navegación, la aerodinámica, la propulsión y los materiales.

Entre la inversión que podemos encontrar en cuanto a la tecnología aeroespacial, encontramos dos tipos de aplicaciones:

- Comercial: es una aplicación de uso civil, tanto para uso privado como público.
- Defensa: es una aplicación de uso militar, con el objetivo de asegurar la seguridad y defensa de los países.

Es en esta clasificación donde radica la principal diferencia entre las grandes competencias mundiales; mientras que Estados Unidos invierte mayores recursos en defensa, la Unión Europea lo hace en términos civiles. Aunque más de la mitad del valor del mercado mundial lo conforman los mercados de estas regiones junto a Canadá, está creciendo en países como China, Brasil, India, Singapur y México, representando hoy en día tan sólo un 7% de las ventas de la industria global, tal y como se recoge en un informe realizado por ICEX España Exportación e Inversiones.

En términos generales, cuando se habla de sector aeroespacial también se incluyen en el mismo las actividades relacionadas con la aviación o las aerolíneas; aunque si bien el objeto del proyecto no sean las mismas, es de importancia mencionarlas ya que cualquier hecho que les acontezca tiene una enorme repercusión en esta industria.

Según IATA, la Asociación Internacional de Transporte Aéreo, las aerolíneas presentaban a principios de año una tasa de crecimiento anual a largo plazo superior al 5%. Sin embargo, en el escenario actual acontecido por la Covid-19, los vuelos se han reducido drásticamente, casi en su totalidad, y las flotas están paralizadas, suponiendo así el mayor desplome en la historia reciente del sector. A consecuencia de lo anterior, las empresas manufactureras se han visto afectadas en un principio de manera importante ya que la falta de suministro ha impedido continuar con la cadena de montaje, reduciendo la productividad de estas. Sin hablar de la disminución en la capacidad y eficiencia que se observó durante el período de confinamiento, cuando no solo hubo que tomar medidas preventivas en las fábricas que obligaron a reconfigurar y ralentizar el trabajo, sino que estas se vieron obligadas por ley a cesar su actividad durante un tiempo determinado. Por último, a largo o medio plazo, estas empresas sufrirán una disminución e incluso cancelación de los pedidos de nuevas aeronaves.

A la vista de estas previsiones y para ajustarse de manera forzosa a esta demanda, los fabricantes aeronáuticos han anunciado que bajarán la cadencia de producción y reducirán algunas líneas de trabajo, sufriendo pérdidas millonarias y provocando despidos masivos. Airbus ha registrado una caída de casi la mitad de sus ganancias básicas en tan solo tres meses, lo que presenta una pérdida neta de 304 millones de euros y anuncia que su plantilla se va a ver reducida en un 50% hasta 2023. Por su parte, su competidora Boeing ha presentado pérdidas de 628 millones de euros por lo que planea recortar un 10% su plantilla.

Gobiernos de todo el mundo alinean sus fuerzas para subsanar todas estas pérdidas y mantener el tejido industrial, ya que el sector aeroespacial reúne una serie de características que ponen de manifiesto su relevancia a distintos niveles. Este sector se reconoce como un sector estratégico ya que, gracias a su transvase horizontal, presenta una gran capacidad de transferir conocimientos a otros sectores económicos o campos productivos; permitiendo así que campos como la electrónica, la informática, la comunicación o los materiales se beneficien de sus recursos para desarrollar las tecnologías que necesitan. Es por ello, una industria tractora en cuanto a tecnología y sistemas se refiere y, realiza una notable actividad de I+D+i. Cabe destacar también que es un sector generador de riqueza con alto valor añadido, que impulsa el comercio y la cooperación nacional. Además, está muy ligado al desarrollo socioeconómico de los países, generando una enorme contribución al PIB de los países, multiplicando lo invertido y, generando empleo directos e indirectos de muy alta cualificación. Todo ello lo hace

a su vez un sector muy susceptible a los vaivenes económicos.

Para terminar de comprender el contexto en el que se devuelven las empresas aeroespaciales, es necesario conocer la estructura de esta industria, ver Figura 9. Como veremos, la industria presenta una configuración *hub & spokes*; este término surge de las ruedas así, *hub* hace referencia al cubo de estas, donde se inserta el eje desde el que se extienden los rayos, los *spokes*. En esta analogía, las grandes empresas integradoras que venden los productos finales a los clientes serían el eje, del que salen muchas otras pequeñas empresas que intervienen en la cadena de valor. Por tanto, la clasificación vista desde la producción quedaría así:

Empresas integradoras

También conocidas como *OEMs* (Original Equipment Manufacturers), son aquellas que fabrican el equipo original. Es decir, son empresas de cabecera integradoras, que ensamblan las aeronaves, fabrican algunas de sus partes y diseñan y desarrollan nuevos modelos de estas.

Contratistas de primera línea

Tier 1, son aquellos que proveen directamente a las empresas integradoras, siendo los responsables de la producción, participando en algunos ensamblados y en muchos casos diseñando y fabricando partes de alto valor agregado y sistemas importantes de la aeronave como son: aeroestructuras, sistemas de aviónica, motores, turbinas, trenes de aterrizaje o fuselajes, por ejemplo.

Subcontratistas

Tier 2 o 3, son proveedores de segundo y tercer nivel, sin responsabilidad de diseño que producen piezas elementales; especializándose en el montaje de subensambles y en la fabricación de partes para aeroestructuras, motores, trenes de aterrizaje o interiores. En algunos casos, sí que se encargan del diseño como es el del utillaje.

Mantenimiento

El mantenimiento aeronáutico o *MRO* (Maintenance, Repair and Overhaul) es necesario y uno de los puntos más delicados de la aviación, ya que cualquier fallo en la aeronave puede incurrir en costes y riesgos muy elevados. Todas las operaciones de revisión y reparación vienen impuestas y exigidas por las regulaciones y quienes la llevan a cabo son o los fabricantes originales, las *OEMs* o, aquellas empresas que estén debidamente calificadas por las autoridades aeronáuticas.

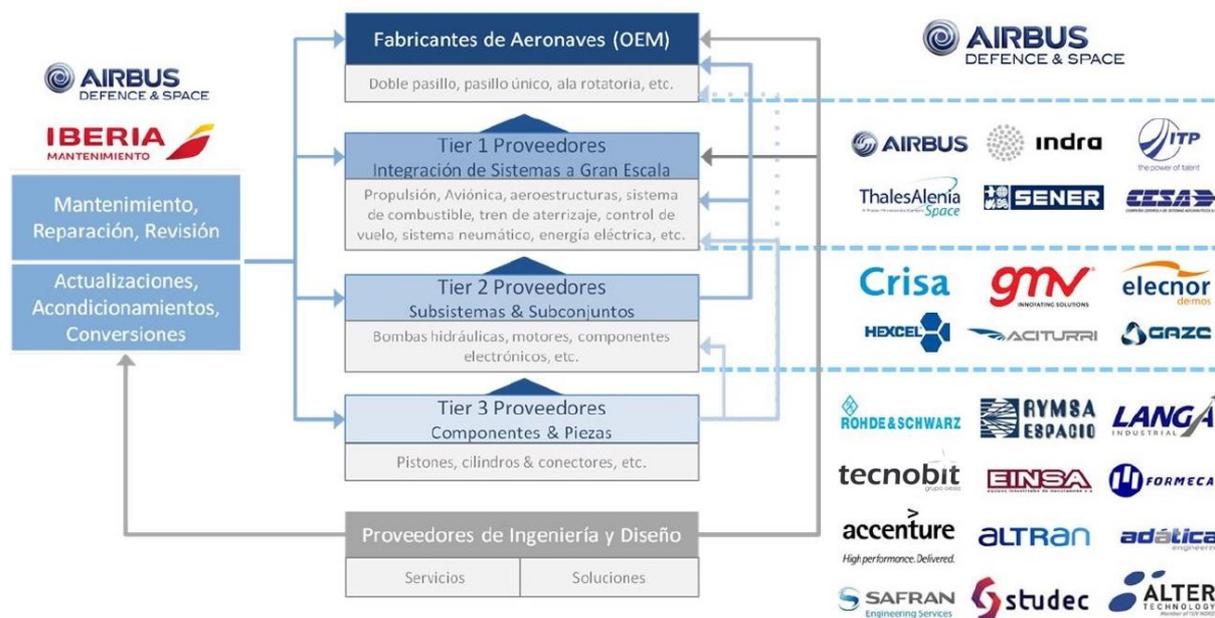


Figura 9. Configuración empresas aeroespaciales en España.

3.2 El sector aeroespacial en España

Una vez entendido el sector aeroespacial, pasaremos a ver la importancia que el mismo cobra en nuestro país.

En primer lugar, conviene hacer referencia a la Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad, Aeronáutica y Espacio, TEDAE, la cual aglutina a todas aquellas empresas españolas con presencia en estas áreas. Cabe destacar, que España es uno de los principales países con la capacidad, experiencia, conocimiento y desarrollo tecnológico para hacerse cargo de la producción completa de una aeronave; es decir, está presente en todo el ciclo de vida del producto: desde su diseño y fabricación hasta la entrega final al cliente. Lo anterior es factible dado el fuerte tejido empresarial que este sector presenta: 384 empresas censadas con certificación EN9100 que se reparten entre 461 centros productivos por toda España. A su vez, hay un ecosistema que favorece su expansión y desarrollo, hay 17 centros tecnológicos, 12 universidades y 6 *clusters*, grupos de empresas interrelacionadas que trabajan en este mismo sector industrial y que colaboran estratégicamente para obtener beneficios comunes, a lo largo y ancho del territorio.

En estos *clusters* se está trabajando para que otras naciones no nos adelanten en innovación ni esfuerzo tecnológico y, para minimizar el impacto ambiental. Se busca seguir siendo una potencia única, para lo que hay que mantener las relaciones y el trabajo en conjunto para solventar la situación en la que nos encontramos. Así, se están buscando nuevas oportunidades para diversificar el trabajo, como por ejemplo la operación con drones que ya se está llevando a cabo en el clúster andaluz, Andalucía AEROSPACE.

En cuanto a cifras, según datos provenientes de la Guía Estratégica 2015-2025 de TEDAE, el sector aeroespacial contribuye con un 1% del PIB a la riqueza nacional y representando el 6,1 % del PIB industrial. De su facturación un 10% retorna al Estado vía impuestos y un 11%, se reinvierte en I+D+i, convirtiéndolo así en un sector con una productividad más de tres veces superior a la media nacional. Ante esto, Jaime de Rábago, presidente de esta asociación, declara: “Nuestras políticas son industrias de Estado que tienen un impacto en industrias estratégicas de nuestro país”. Con ello, hace referencia a la importancia que el sector tiene en nuestro país y a la necesidad imperante de políticas industriales a largo plazo, con colaboración de la Administración para obtener apoyos similares u homologables a nuestros países vecinos, para no quedarnos atrás y poder ser competitivos en este mercado. Todo ello cobra mayor importancia incluso, cuando se tiene en cuenta que más del 80% del volumen de negocio empresarial se corresponde con exportaciones.

Todo lo anterior, se distribuye entre las distintas áreas que encontramos en este sector, tal y como se puede ver en la siguiente imagen.



Figura 10. Facturación sector aeroespacial en España

Fuente: TEDAE.

El volumen de negocio total alcanza los 9.700 millones de euros, de los cuales:

- El subsector aeronáutico supone el 55% de la facturación total, con 7.800 millones de euros y alberga el 41% de los empleos del sector aeroespacial en España.
- El subsector de la defensa supone el 22% de la facturación y alberga el 39% del empleo.
- Dentro de este último, el ámbito terrestre y naval suponen un 16% de facturación y un 12 % de empleo.
- Los restantes 7% de facturación y 8% de empleo, corresponden al ámbito espacial, dividido entre ambos subsectores.

Gracias a esta diversificación del mercado, si se adoptan las medidas necesarias, los aviones militares podrán dar cierta estabilidad ante esta crisis no solo sanitaria sino también económica y social. Para ello, las naciones deberán reestablecer sus presupuestos, especialmente en defensa.

Para acabar de contextualizar este apartado, se añade a continuación un ranquin de las 10 principales empresas del sector Construcción aeronáutica y espacial y su maquinaria según sus ventas.

Número	Nombre empresa	Facturación	Provincia
1	AIRBUS DEFENCE AND SPACE SA	3.018.567.000	Madrid
2	AIRBUS OPERATIONS SL	1.698.508.000	Madrid
3	AIRBUS MILITARY SL	1.512.870.000	Madrid
4	INDUSTRIA DE TURBO PROPULSORES SAU	740.6369.000	Bizkaia
5	AERNNOVA AEROSPACE SA	392.480.00	Arava,Álava
6	ACITURRI AEROSTRUCTURES SL	288.151.000	Burgos
7	ALESTIS AEROSPACE SL	282.769.000	Sevilla
8	AIRBUS HELICOPTERS ESPAÑA SA	215.080.253	Albacete
9	MECANIZACIONES AERONAUTICAS SA	111.889.000	La Rioja
10	AERNNOVA COMPOSITES SA	93.643.000	Toledo

Figura 11. Rankin empresas sector aeroespacial en España.

Fuente: El Economista.

3.3 AIRBUS

AIRBUS GROUP, en sus orígenes denominado European Aeronautic Defence and Space Company (EADS), es la mayor compañía aeroespacial de Europa y una de las más grandes del mundo, disputándose el primer puesto con Boeing.

Con sede operativa en Tolouse, Francia, y con sede oficial en Leiden, Países Bajos, la empresa perteneciente al sector aeroespacial es líder en diseño, fabricación y comercialización de aeronaves, así como de provisión de soluciones y mantenimiento del producto.

En la siguiente figura puede observarse un cronograma que muestra la evolución de las distintas secciones en las que se divide este grupo:



Figura 12. Secciones de Airbus Group.

Fuente: Wikipedia.

Actualmente, son tres las secciones que lo componen: Airbus SE (*Société européenne*, del francés: Sociedad Europea), Airbus Defence and Space SAS (*Société par Actions Simplifi e*, del francés: Sociedad por Acciones Simplificada) y Airbus Helicopters SAS.

Airbus SE, Airbus Commercial Aircraft

Esta división está destinada al transporte tanto de pasajeros como de mercancías, incluyendo desde aviones de pasajeros hasta cargueros y jets privados; ofreciendo una variedad de soluciones a medida para satisfacer las necesidades de cualquier cliente.

Así, entre los modelos de su diversa flota se encuentran los siguientes:

- A220**, producido actualmente por Airbus Canadá SL, responde a la demanda de aviones de pasajeros de pasillo único más pequeños del mercado: de 100 a 150 asientos.
- A320**, un avión de cuatro tamaños que pertenece a la familia de aviones más exitosa y vendida en la historia de la aviación; gracias a ser el avión de pasillo único de mayor autonomía del mercado y el primer avión civil con tecnología de vuelo por cable.
- A330**, un avión dentro de la familia de aviones de fuselaje ancho, caracterizado por ser el mejor de su clase gracias a sus motores de nueva generación y su diseño avanzando, contando con un ala de gran envergadura que mejora su aerodinámica.
- A350 XWB**, el avión de fuselaje ancho más reciente de la compa a, que se caracteriza por la busca de la eficiencia y la sostenibilidad, diseñado bajo patrones que se encuentran en la naturaleza y con un 70% de materiales avanzados.
- A380**, el avión de pasajeros más grande y espacioso del mundo, contando con dos cubiertas completas de cuerpo ancho, lo que permite optimizar la planificación de la flota y descongestionar aeropuertos.

Airbus Defence and Space SAS

Será dentro de esta división donde se va a enmarcar este proyecto. Airbus es un líder mundial en el sector de la defensa, el mayor proveedor de defensa de Europa y una de las 10 principales empresas de defensa del mundo. Fabrica aviones de transporte aéreo táctico y estratégico, aviones cisterna multifuncionales y aviones de combate avanzados. Además de diseñar, desarrollar y fabricar aviones militares, Airbus ofrece una amplia gama de servicios para apoyar plenamente a sus clientes.

En el área de defensa las aeronaves son las siguientes:

- A400M**, el avión de transporte aéreo más avanzado, probado y certificado disponible actualmente, satisfaciendo tres necesidades al mismo tiempo: transporte de tropas, capacidad de entregar mercancías en lugares tácticos e incluso no preparados y, capacidad de actuar como un avión cisterna.
- A330 MRTT**, el avión tanquero de Airbus es un petrolero de nueva generación capaz de transportar 111 toneladas de combustible lo que representa una mayor capacidad y posibilidad de descarga de mayor cantidad de combustible a cualquier distancia que cualquier otro competidor.
- Eurofighter Typhoon**, concebido para modernizar las Fuerzas Aéreas Europeas, es considerado el avión de combate más moderno y no solo ha cumplido con sus expectativas, sino que ahora se

comercializa en muchos otros países. Destaca por su maniobrabilidad, sensores modernos y fusión de datos.

- d. **C295**, avión táctico y muy versátil, pudiendo llevar a cabo operaciones en todo el mundo bajo cualquier condición climática. La producción de este avión se lleva a cabo en las instalaciones españolas.

En cuanto al área de defensa, Airbus colabora en la exploración espacial suministrando sistemas fiables que van desde componentes electrónicos hasta plataformas completas de retransmisión de telecomunicaciones, satélites científicos y naves espaciales tripuladas.

Además de sus numerosas misiones espaciales, su flota se compone de dos lanzaderas:

- a. **Ariane 5**, un cohete de un solo uso pensado para colocar satélites en órbita geoestacionaria y para enviar cargas a órbitas bajas.
- b. **Ariane 6**, estará fabricado en dos versiones y permitirá hasta 12 lanzamientos por año, lo que garantizará a Europa un acceso independiente al espacio y le permitirá ser competitivo en el mercado comercial.

Airbus Helicopters SAS.

División dedicada al diseño, fabricación y comercialización de helicópteros pensados para proteger y salvar vidas en un amplio rango de usos: civil, misiones de gobierno, actividad militar y usos parapúblicos. A continuación, se destacarán los modelos más significativos de cada uno:

- a. **H125, H130**, dentro de la categoría de helicópteros civiles, para servicios médicos de emergencias, servicios públicos, transporte aéreo comercial y aviación privada y de negocios.
- b. **H125M, H135M, H145M**, en la categoría militar, estos helicópteros son útiles para exploración armada, ataques, operaciones navales, marítimas y especiales.
- c. **NH90 multi role**, aeronave militar destinada al transporte táctico.
- d. **Tiger Medium-Weight**, diseñado para el combate en el aire y apoyo aéreo.

3.4 La digitalización en el sector aeroespacial

Este sector, surgió a partir de la “carrera espacial” entre Estados Unidos y la Unión Soviética durante la Guerra Fría. Una carrera tecnológica muy vinculada con la economía; la inversión de los distintos gobiernos para demostrar su poder y quedar primeros en esta carrera ha tenido efectos multiplicadores en muchos otros ámbitos que han traído consigo la creación de nuevas tecnologías laterales y el desarrollo de este tejido industrial. Gracias al desarrollo de las tecnologías de comunicación, especialmente el de las señales satélites, se dinamizó el uso de comercial de las aplicaciones aeroespaciales. Así, se ve un desarrollo paralelo de las nuevas tecnologías con el crecimiento de este sector, caracterizado por su fuerte inversión en I+D.

Hoy en día, según el ‘Análisis del sector aeroespacial comercial y de defensa en Europa’ de Deloitte, son cinco las áreas claves para las empresas de este sector:

- *Invertir en el diseño y el desarrollo de productos aeroespaciales que mantengan los márgenes y creen una base para el futuro, en un panorama cada vez más competitivo.*
- *Conseguir un rendimiento operativo a largo plazo mediante la gestión de la liquidez, la mejora de procesos y unas transformaciones de programas más eficaces.*
- *Garantizar capital para desarrollar mejoras personalizadas en los productos (lo que incluye aeronaves y motores), lo que puede generar un aumento de las entregas y los beneficios.*
- *Mejorar las capacidades de innovación mediante alianzas y adquisiciones, así como recurriendo a los*

mejores talentos.

- *Apoyar el crecimiento continuado del negocio mediante la inversión en nuevos servicios, centrándose en nuevos clientes y mercados, así como en contratos y tecnologías.*

Como se puede observar, casi todas ellas están igualmente relacionadas con la innovación y solo serían posible gracias a la transformación digital, aportando soluciones integrales. Además, teniendo en cuenta que los requisitos de producción son cada vez más exigentes, es necesario adoptar nuevas tecnologías, para la creación de productos más personalizados, eficientes y en períodos más cortos de tiempo.

La mayoría de las empresas aeronáuticas con capacidad financiera y tecnológica ya están apostando por la implementación de las nuevas tecnologías. Los ciclos de este negocio son más lentos que en otros sectores, pero el rápido incremento de la demanda de aeronaves ha posibilitado la introducción de métodos de fabricación similares a los utilizados en la automoción, pioneros actualmente de la transformación digital en la cadena de montaje; empezando a pensar en este sector en la fabricación en serie, que antes era impensable ya que todo el proceso de montaje era manual. Para llevar esto a cabo, las nuevas líneas de montaje se están creando ya de esta manera mientras que, a las ya existentes se les están añadiendo nuevos sistemas digitales gradualmente.

Como se vio anteriormente, las grandes empresas integradoras interactúan con múltiples actores: proveedores, clientes, administraciones, empresas auxiliares, etc. Para que todo funcione a lo largo de la cadena de valor del producto, habría que crear una infraestructura digital para que todas estas empresas estén intercomunicadas, garantizando la integración tanto vertical como horizontal de estas y, la eficiencia y la competitividad de todo el tejido empresarial. Todas aquellas empresas que no alcancen un nivel tecnológico adecuado perderán la carrera y serán sustituidas por otras más preparadas. Todo ello, sin olvidar que además de las infraestructuras, ya sean digitales o físicas, debe haber planes de industrialización detrás, respaldándolas.

Por otra parte, la pandemia a la que hacemos frente actualmente vuelve a recalcar la necesidad de renovación en este sector. Como se ha comentado a lo largo de este capítulo, la industria aeroespacial, por definición, se caracteriza por los largos períodos de tiempo que esta conlleva para cada una de sus actividades y procesos. Sin embargo, esta crisis ha llegado de una manera rápida y súbita y, las decisiones y medidas que se adopten deberán llevar la misma velocidad.

Así, la acción principal es la de garantizar la seguridad y salud de todos los trabajadores; siempre asegurando que las operaciones críticas y la actividad de las empresas continúe. Para esto, es necesaria la creación de una infraestructura de respuesta rápida para la vigilancia y el seguimiento de esta crisis, en la que se integren herramientas para desarrollar y ejecutar protocolos de respuesta y mejorar la toma de decisiones, gracias al poder de las nuevas tecnologías.

El “teletrabajo” es ya una realidad que requiere enormes cambios en la infraestructura y cultura de este sector, en el que resulta de extrema dificultad debido a las complejas redes de proveedores y mano de obra que esta necesita para la planificación de su cadena de suministro, además de encontrarse cada instalación en una región con trayectorias de infección distintas. Para hacer frente a este desafío es necesario construir un equipo multifuncional de respuesta rápida, que pueda coordinar la comercialización y mantener la comunicación con las partes interesadas, así como evaluar continuamente la situación para tomar las medidas pertinentes. Será importante escalar y mantener lo anterior, poniendo en práctica modelos y sistemas que aseguren la continuidad del negocio si se producen nuevos brotes, pudiendo reoptimizar de manera casi automática la organización de las empresas para satisfacer las nuevas necesidades del mercado.

Otro factor fundamental de esta industria son las cadenas de suministro, imprescindibles para que las piezas y ensamblajes lleguen de forma rápida, segura y protegida a las instalaciones de producción de todo el mundo. Mayoritariamente, todas las OEMs están expuestas a los suministros provenientes de China, primer país afectado por esta crisis sanitaria, por lo que no tardaron en verse afectadas por la incapacidad de abastecerse de muchas piezas. A medida que se ha ido expandiendo el virus, se han producido cierres temporales en instalaciones de todo el mundo, por lo que todas las compañías han sufrido problemas de logística y de hacer entregas a sus propios clientes; sin tener en cuenta que la demanda de pedidos tanto de los fabricantes como de las líneas aéreas ha disminuido sustancialmente. Para solventar este problema, además de crear infraestructuras y equipos

multifuncionales de respuesta rápida habrá que tomar muchas otras acciones. Estas serán la adaptación de las habilidades y certificaciones a los nuevos programas de producción, la evaluación de la logística y el transporte para que gracias a la programación de la producción se puedan reequilibrar las líneas de producción según la disponibilidad de material y los cambios en la demanda, buscando opciones para evitar la escasez de piezas que provengan de una sola fuente.

Para llevar a cabo esta transformación digital hacia la que girará la industria, es necesario volver la vista atrás a las tecnologías facilitadoras definidas en el apartado anterior y ver que aplicación podrían tener las mismas en este campo.

En cuanto a los sistemas ciber-físicos, la existencia de un “gemelo digital”, un modelo virtual de un proceso, producto o servicio a través de la información obtenida de sensores o automatismos permitiría el análisis inteligente de datos y la monitorización de los sistemas. Lo que aplicado al sector aeroespacial podría reducir en un más de un 50% los tiempos de producción ya que evitaría los problemas antes de que se produjeran, previniendo así los tiempos de inactividad y ayudando a planificar la cadena de producción mediante simulación. Todo ello, en este sector caracterizado por la alta inversión que requiere, supondría un ahorro masivo de costes, ya que cualquier error no evitado se traduce en una gran pérdida de dinero. Por ello, el énfasis estará ahora en la predicción y prevención en vez de en una resolución post-facto.

Actualmente, los motores de las aeronaves más modernas ya vienen equipados con sensores que generan una inmensidad de datos por vuelo (787 terabytes por viaje), recopilando información de los aviones, ya sean datos referentes a la altura, la latitud, la longitud, la velocidad, etc. Sin embargo, con las capacidades predictivas de IoT se pretende que estos datos no tengan que descargarse tras el vuelo para su análisis posterior, sino que, puedan ser transmitidos a tiempo real. Así, se podría minimizar la necesidad de desarmar los motores en un tiempo entre inspecciones y aprovechar estos datos para predecir e influir en el desempeño de las aeronaves. El último paso para esta implementación sería la creación de una red IoT conectada y colaborativa, junto con algoritmos de inteligencia artificial y de aprendizaje automático; un aspecto que requiere escalabilidad de algoritmos y disponibilidad de máquinas para su ejecución.

Lo anterior será posible no solo gracias a los sensores instalados en los motores, sino que, debido al descenso en los costos de producción, cada vez se lanzan más satélites al espacio encargados de obtener información de la tierra. Con esto, se pueden recopilar datos meteorológicos con los que crear patrones climáticos y así garantizar la seguridad de los aviones durante el viaje y replanificar trayectorias fiables.

La Inteligencia Artificial se está introduciendo actualmente en las áreas transversales de las empresas: recursos humanos, compras o finanzas, por ejemplo. Esto, se está llevando a cabo con aplicaciones como Bots, Chatbots o servicios informáticos dotados de esta inteligencia artificial. Debido a esto, muchas tareas de cierto nivel cognoscitivo son ahora desarrolladas por sistemas informáticos tales como la adaptación de facturas a la legislación de otros países, la selección de personal a través de herramientas que hacen uso del “Big Data” o el seguimiento digital en red de los procesos de adjudicación de pedidos a proveedores, entre otros. Todo ello, está dando lugar a un proceso de recentralización de funciones y reestructuración de áreas.

Por otro lado, en las áreas operativas, lo que está aconteciendo es una automatización tanto de las líneas como de los procesos de fabricación, con una integración multidisciplinaria y sistemas de fabricación inteligente que permiten una mejor monitorización y trazabilidad de todos los procesos. Es decir, se está siguiendo el camino para llegar a ser fábricas inteligentes y auto monitorizadas.

La Realidad Aumentada, se verá implementada en diferentes campos. El más importante, es el de la formación, pudiendo mostrar a los operarios motores, piezas o procesos donde estos intervengan de una manera realista y en detalle, mejorando su curva de aprendizaje. Por otra parte, se usará para guiar a los operarios en los procesos industriales. En esta industria existen tareas muy complejas que requieren extensos manuales, cuya consulta aumenta considerablemente el tiempo de realización de las tareas; con aplicaciones de RA se les podrá mostrar paso a paso indicaciones sobre la realización de las tareas, reduciendo el tiempo y mejorando la competitividad de la empresa. La gestión de trabajos o en productos como las gafas inteligentes que mejorarán las actividades de producción.

La personalización será otra realidad, ya que la proliferación de dispositivos digitales ofrece a las empresas una plataforma para brindar nuevos servicios a los clientes y recabar información que podrían usar para personalizar

estos.

Otra de las tecnologías que ayudaría a la industria aeroespacial en su camino hacia la digitalización es la fabricación aditiva o de componentes. Debido a que la fabricación precisa de cada componente en esta industria es extremadamente importante, la fabricación aditiva permite diseñar a la perfección casi cualquier tipo de estructura compleja con funcionalidad avanzada.

Al estar evolucionando los procesos de fabricación y creación de nuevas herramientas, deben evolucionar a su vez los métodos de mantenimiento de estos. Para ello, ya se están integrando nuevas tecnologías como, por ejemplo, el uso de drones para inspeccionar y detectar daños en la superficie de las aeronaves, reduciendo el tiempo medio de inspección y liberando a los trabajadores para poder realizar otras tareas.

Por último, la ciberseguridad va a desempeñar un papel vital, donde sobre todo los departamentos de defensa gubernamentales deberán invertir para protegerse de la exposición que los gobiernos presentan ante los ciberataques.

Con todo lo anterior, es comprensible que las estimaciones en cuanto al valor previsto que genere la digitalización en esta industria sean tan altas, en torno a los 305.000 millones de dólares para el año 2025, a través de una mayor rentabilidad. Así, las empresas aeroespaciales y de defensa con operaciones adaptables, modelos basados en plataformas e integración en ecosistemas, estarán mejor posicionadas para superar cualquier desafío inmediato y crisis venideras.

4 LEAN MANUFACTURING

“Si usted no tiene tiempo para hacer las cosas bien, entonces debe tener tiempo para repetirlo”.
-John Wooden-

La idea de esta cita, que debe hacerse el trabajo bien desde el principio o posteriormente se perderá el tiempo al tener que rehacerlo, es la principal sobre la que se sustenta el Lean Manufacturing. Es necesario definir algunos conceptos de este, ya que el presente trabajo se desarrolla dentro del Departamento de P&I, *Performance and Improvement*. Este departamento es el encargado de aplicar la filosofía LEAN dentro del proceso productivo, concretamente en todas y cada una de las estaciones de la línea de ensamblaje. La función principal del mismo será la de buscar la excelencia a lo largo del desarrollo de las distintas tareas.

4.1 Conceptos previos

El Lean Manufacturing es un método de organización del trabajo cuya cultura se basa en la mejora continua, en la utilización del potencial de las personas y en la optimización de un sistema de producción, donde se identifican los flujos de valor para eliminar desperdicios y actividades sin valor añadido al proceso.

El objetivo principal de esta filosofía es el de minimizar las pérdidas que se producen en los procesos de fabricación, usando solo aquellos recursos que sean imprescindibles. Así, eliminando el despilfarro se mejora la calidad del producto final y se reducen el tiempo de fabricación y los costes asociados; pudiendo entregar al cliente lo que quiere, cuándo quiere, cómo quiere y al precio que está dispuesto a pagar.

4.1.1 Los 7 desperdicios

Existen tres tipos de trabajo dependiendo del valor que añadan al producto final, así encontramos:

Valor añadido: Cualquier proceso capaz de cambiar la idoneidad, forma o función del producto o servicio, en línea con los requisitos del cliente.

Sin valor añadido pero esencial: Inevitable con la tecnología o los métodos actuales. Cualquier trabajo realizado que no incrementa el valor del producto, pero añade coste o tiempo.

Despilfarro: El resto de las actividades sin sentido y no esenciales que no añaden valor al producto y el cliente no está dispuesto a pagar por ellas. Idealmente se pueden eliminar de inmediato.

Una vez visto lo anterior, cabe considerar la idea de eliminar los despilfarros. Siendo esta la base sobre la que se fundamenta el Lean Manufacturing, pasaremos a ver aquellos que con más frecuencia se repiten a lo largo de los procesos productivos.

1. Sobreproducción: La sobreproducción es la producción de productos antes de que estos sean requeridos por el siguiente proceso o por el cliente en cuestión, lo que obliga a asignar material de sobra a todos los puestos involucrados.

Normalmente, este despilfarro ocurre al tratar de cubrir posibles ineficiencias existentes en el proceso; fijando objetivos de productividad erróneos lo que hace que se inviertan recursos muy superiores a los necesarios. Pero en vez de solventar estas ineficiencias, la sobreproducción trae consigo muchos otros

problemas, por lo que se le llega a considerar la madre de estos 7 desperdicios; ocasionando la penalización del flujo de materiales y grandes inventarios y esperas.

2. Esperas: Las esperas se traducen en recursos esperando para realizar una actividad, ya sean estas personas o máquinas.

Estas pueden deberse a distintos factores como a la falta de material en alguno de los ciclos, a procesos desequilibrados, a falta de información en cuanto a cómo proceder a realizar una operación, etc.

3. Transportes: El transporte se refiere al movimiento de las piezas y materiales, tanto al tiempo invertido en transportarlas como en almacenarlas.

Mientras dura el transporte, es muy difícil controlar donde está el material, dando lugar a un stock en curso difícil de gestionar. Es por ello, por lo que se debe tratar de distribuir el material de la forma más organizada y cercana posible, asignando una ubicación controlada a cada material.

4. Sobreprocesos: Los sobreprocesos surgen de los procesos ineficientes que requieren la necesidad de realizar tareas que no aportan ningún valor y van más allá de lo que el cliente quiere.

Suelen ocurrir debido a tareas duplicadas como inspecciones, dobles manipulaciones, generación de más información de la necesaria, malos ajustes de procesos o incluso la existencia de inadecuadas secuencias de operaciones.

5. Inventarios: Acumulación de cualquier cantidad de materia prima, productos en curso o productos terminados más allá del mínimo necesario.

Si bien es cierto que es necesario tras el curso de las operaciones, es necesario deshacerse de él en cuanto sea posible ya que el hecho de que exista inventario implica la realización de una serie de actividades que aumentan los costes y dificultan la gestión. Estas son las operaciones de recepción, ubicación, almacenamiento, conteo, inspección y búsqueda; ya que los grandes inventarios suelen tener muy mala trazabilidad y dar lugar a obsolescencias y a falta de visibilidad de muchos productos que pueden faltar o estar dañados. Sumando a lo anterior el hecho de que los inventarios conllevan una gran carga de impuestos y costes de seguros, pagando por algo a lo que no se le está dando uso.

6. Movimientos: Todos aquellos desplazamientos de personas causados por mala organización o por un mal layout ya sea para herramientas, movimientos de alcance o desplazamientos hacia las herramientas de trabajo.

7. Retrabajos/Defectos: Si los productos que se han utilizado o generado no cumplen las especificaciones técnicas, se tendrán que reparar, volver a inspeccionar o afectarán al siguiente proceso; por lo que hay que tener en cuenta que cada reparación es una pérdida y hay que tratar de hacer las cosas bien a la primera, aunque ello conlleve algo más de tiempo.

Hay que evitar defectos en la información que se aporta para que esto no ocurra, así como los errores humanos o la utilización de herramientas o útiles inadecuados.

4.1.2 Herramientas Lean

Muchas son las herramientas existentes para eliminar los desperdicios anteriormente mencionados y aplicar la filosofía Lean en cualquier aspecto de la empresa. A continuación, se mencionarán y describirán de forma resumida las principales, haciendo hincapié en la estandarización y la gestión visual, ya que serán las usadas para realizar el proyecto.

4.1.2.1 Las 5s

Este método tiene como objetivo la creación de lugares de trabajo más organizados, limpios, ordenados, seguros y visuales, mediante un enfoque sistemático para su organización que promueve el sentido de la propiedad y la autodisciplina para ser más productivo a la hora de desarrollar las prácticas del trabajo diario.

Es una metodología japonesa que recibe su nombre debido a las iniciales de sus cinco etapas o principios elementales:

1. **Seiri.** Organización y eliminación de elementos innecesarios.
2. **Seiton.** Orden de los elementos que se han considerado necesarios.
3. **Seiso.** Limpieza e inspección de las fuentes de suciedad.
4. **Seiketsu.** Estandarización y señalización de anomalías.
5. **Shitsuke.** Disciplina, seguir mejorando.

Esta herramienta resulta imprescindible ya que promueve la disciplina, actitud necesaria para la implantación de cualquiera de las otras herramientas; podría considerarse uno de los primeros pasos hacia la mejora continua.

4.1.2.2 La estandarización

La estandarización del trabajo consiste en esquematizar los métodos seguros y eficientes de trabajo con el fin de hacer las cosas más sencillas, ahorra tiempo y esfuerzo y mejorar la predictibilidad.

Es un medio para permitir a las personas que realizan el trabajo controlar la producción, no para controlar a las personas que realizan el trabajo. A diferencia de lo que se cree, no implica una rígida secuencia de pasos que no pueden ser modificados, sino que, los documentos de trabajo estandarizado están para ayudar a realizar el trabajo y pueden ser cambiados en el momento en que se encuentra un método mejor.

Los principales objetivos del trabajo estandarizado son los siguientes:

- Creación de un entorno de trabajo seguro.
- Fabricación de productos de calidad.
- Identificación de problemas y eliminación de despilfarros: la estandarización es la base de la mejora para este aspecto ya que, al establecer una referencia común para todos, resulta más fácil evaluarse frente a ella e identificar las mejoras; mejorando a repetitividad y consistencia del trabajo humano.

Para conseguir este objetivo, suele usarse el Círculo de Deming, también conocido como Ciclo PDCA, en inglés “*Plan, Do, Check, Act*”. Este círculo está compuesto de las siguientes 4 etapas cíclicas:

1. **Plan.** Planificar.
2. **Hacer.** Do.
3. **Check.** Controlar o verificar.
4. **Act.** Actuar



Figura 15. Ciclo de Deming

- Gestionar de forma eficiente y evitar las situaciones de caos: gracias a la estandarización, se puede determinar fácilmente cuando la producción no se está comportando según la referencia establecida y

así volver rápidamente a estas.

- Ayuda al responsable del equipo a distribuir las tareas entre los miembros de este, identificar las desviaciones y revisar el avance dentro del turno.
- Permite alinear los recursos con la demanda a través del balanceo de la línea de acuerdo con el *takt time* del proceso.
- Permite la certificación de operaciones por parte del operario gracias a la secuenciación de tareas.

4.1.2.3 La gestión visual

Íntimamente relacionado con la estandarización, encontramos la gestión visual: un estándar representado mediante un elemento gráfico o físico muy sencillo. El objetivo del control visual es que todo aquello que se realice en un puesto de trabajo esté originado por una “orden visual”, de esta forma, a simple vista, cualquier persona que no conozca el puesto es capaz de distinguir entre situaciones normales y anormales. Además, con la gestión visual se busca la eliminación de todos aquellos desperdicios sin ningún valor por medio de la simplificación máxima del trabajo.

Para llevar esto a cabo, ya hay instaladas en todas las áreas de la planta *Control Rooms* digitales, las cuales se describirán en el objetivo siguiente, con el objetivo de exponer en tiempo real y de una manera clara y precisa a través de paneles informativos si se están cumpliendo o no los objetivos. A su vez, están implantados los sistemas ANDON, que se verán igualmente más adelante.

VSM: Value Stream Mapping

Un mapa del flujo de valor es una técnica gráfica que permite visualizar todo el proceso necesario para fabricar un producto desde la materia prima hasta el consumidor final. Es una herramienta que se basa en la gestión visual, ya que todas las actividades del proceso se representan mediante símbolos estandarizados que establecen un lenguaje común en el análisis del proceso. Además, muestra la relación entre el proceso, el flujo de materiales y el flujo de información de los distintos grupos/servicios de las fases productivas.

Se podría decir que es la herramienta clave en el proceso de gestión de la mejora, ya que gracias a la visión global de la situación actual que obtenemos de él, se puede trazar el plan de acciones de mejora continua dirigido a la transformación de la cadena de valor.

Con el fin de maximizar el beneficio, es necesario elegir correctamente el proceso de producción sobre el que se va a realizar el VSM. Así, este debe ser una línea estratégica de la compañía, una línea de procesos críticos, una línea de procesos comunes o, en definitiva, una línea que represente un alto valor para el negocio. Tras esto, el criterio anterior debe ser aplicado a todos los niveles.

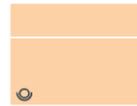
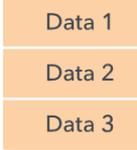
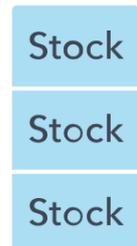
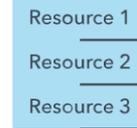
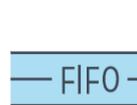
Por último, para garantizar completamente su éxito este debe hacerse en las siguientes situaciones:

- Cuando existen dificultades para cumplir con los objetivos de producción, ya sea porque las acciones de mejora hasta la fecha estén completas, agotadas o sean ineficientes.
- Cuando se necesite obtener reducciones del lead time, inventario o coste.
- Cuando se vayan a llevar a cabo cambios de procesos o productos que conlleven una modificación de las actividades a desarrollar, para evitar trasladar malas prácticas a la nueva situación.

Una vez desarrollado el VSM actual, hay que enfocar el VSM futuro. Para ello, se volcará toda la información de la que se dispone en una matriz de despliegue que considere el plan inicial, la priorización de las actividades a seguir y el seguimiento de estas a través de varios indicadores. Dichas acciones cuantificadas y priorizadas conformarán el TIP, *Tactical Improvement Plan*; al cual se evaluará su evolución a partir de indicadores que reflejen la asistencia y el cierre de acciones a corto plazo, así como los puntos de bloqueo.

La siguiente tabla, ha sido elaborada para conocer alguno de los símbolos básicos estandarizados que intervienen

en el VSM, con el fin de comprender totalmente este proceso. A través de los distintos colores se representarán en este orden: los símbolos de procesos, los símbolos de materiales, los símbolos de información y los símbolos generales de un VSM.

	<p><u>Cliente/Proveedor específico</u> Representa el proceso origen o destino de la cadena de valor.</p>
	<p><u>Flujo de proceso específico</u> Representa un área de flujo continuo.</p>
	<p><u>Proceso compartido</u> Representa un proceso de fabricación compartido con otras familias de productos que no se estén analizando.</p>
	<p><u>Caja de datos/parámetros.</u> En ella se incluye la información que define el proceso tal como el tiempo de ciclo, el tiempo de cambio, los turnos, la disponibilidad, el tamaño de los lotes, etc. Se representa en la parte inferior del proceso.</p>
	<p><u>Celda de trabajo</u> Representa un proceso de fabricación dedicado a la familia de productos analizada, ya sea un puesto, una célula o una línea.</p>
	<p><u>Inventario</u> Representa un punto de acumulación de material por interrupción de flujo, en él se deben anotar la cantidad de unidades y los días de stock.</p>
	<p><u>Stock/Buffer</u> Representa un punto de acumulación de material Stock de Seguridad o Buffer. Ambas sirven para cumplir con la demanda; el stock de seguridad se puede eliminar resolviendo las incidencias internas mientras que el buffer se hace resolviendo las variaciones externas, la demanda.</p>
	<p><u>Supermercado</u> Se utiliza en los puntos de la cadena en los que no se puede establecer un flujo continuo, en él se dispone de una cantidad por referencia que se repone en función del consumo registrado.</p>
	<p><u>Carril FIFO</u> Indica que sale lo primero que ha entrado, limitando la capacidad. Si se alcanza el tope de esta se interrumpe el proceso de cabecera. Esta capacidad máxima se puede detallar encima o debajo del carril.</p>
	<p><u>Flujo de materiales</u> Representa el flujo de materiales desde el origen de la cadena o al destino de la cadena</p>

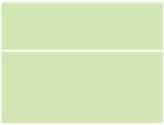
	<u>Flujo de materiales PUSH</u> Indica que el material avanza independientemente del consumo registrado.
	<u>Flujo de materiales PULL</u> Indica que el material que avanza es porque se ha producido un consumo de productos.
	<u>Envío de transporte por carretera</u> En él, se anota la frecuencia de envío y el lote de transporte.
	<u>Proceso de control</u> Suele ser Control de Producción, el cual recibe información, la procesa y genera para controlar el flujo de información.
	<u>Flujo información manual</u>
	<u>Flujo de información electrónica</u>
	<u>Kanban de producción</u> Indica el número de productos a fabricar para reponer un consumo de materiales.
	<u>Kanban de retirada</u> Representa una tarjeta que brinda instrucciones al operario o al encargado de administrar los materiales para trasladar piezas desde un supermercado o proceso.
	<u>Kanban de señalización</u> Hay que indicar en él, el número de componentes a fabricar en un proceso que fabrique por lotes.
	<u>Base de datos</u> Representa un sistema informático que realiza la planificación: ERPs (Planificación de Recursos Empresariales) o MRPs (Planificación de requerimientos de material)
	<u>Estallido Kaizen</u> Está indicado para destacar y resaltar las áreas problemáticas.

Figura 14. Símbolos estandarizados de un VSM

Fuente propia.

4.1.2.4 TPM, *Total Productive Maintenance*

El Mantenimiento Productivo total se basa en un equipo que implica a cada nivel y función de la organización, desde altos directivos hasta los operarios del taller, con el fin de mantener las condiciones óptimas del equipo/puesto de trabajo mediante la eliminación de todas las pérdidas y la búsqueda de la eficiencia total del proceso. Es una herramienta de mejora continua en la planta.

En sus comienzos, el mantenimiento era puramente correctivo, se arreglaba lo que fallaba, lo que hacía que pueden ocurrir paradas inesperadas, siendo así la máquina quien controla la producción y, dañando la calidad y el servicio a los clientes. De ahí, pasó a ser un mantenimiento preventivo, el cual establecía acciones a realizar en una máquina con una frecuencia establecida, tales como engrase, cambio de lubricantes, filtros, limpieza, etc. Con esto, se controlaban las condiciones de trabajo de la máquina, controlando así la producción y adelantándose a posibles fallos y paradas inesperadas. Pocos años más tarde, surgió el mantenimiento predictivo, con técnicas de detección de problemas y análisis de variables que afecten al estado de la máquina, con la idea de que la mayoría de los componentes puedan avisar de alguna manera antes de que su fallo ocurra. Por último, surgió el mantenimiento productivo total, que no solo trata de analizar o corregir lo ya existente, sino que tiene el objetivo de mejorar las condiciones de la máquina, del proceso y del puesto de trabajo, analizando las causas raíz de las averías e implementando mejoras tecnológicas. Este último, es el camino para seguir hacia el mantenimiento proactivo.

Al seguir tratándose un **mantenimiento**, este se encarga de mantener los estándares de calidad y productividad y, de mantener las condiciones óptimas del equipo o puesto de trabajo. Se le considera un mantenimiento **productivo**, ya que su objetivo es la eliminación de todas las pérdidas de los equipos, en busca del límite máximo de eficiencia del sistema productivo: 0 defectos, 0 averías, 0 accidentes, 0 ajustes y 0 impacto ambiental gracias al desarrollo de las condiciones óptimas para que el taller funcione como un sistema hombre-máquina y mejorar así la calidad general del entorno de trabajo. Por último, se le denomina **total** ya que busca la eficiencia total del proceso, analizando todas las pérdidas, con la participación de todos los departamentos de la empresa con todos sus empleados para implementar las mejoras en todos los procesos de la empresa e implementar los planes de mantenimiento para todos los equipos, así como dando formación total a todos los miembros. Todo esto, llevará a un cambio tanto de actitud como de responsabilidades

Para gestionar el TPM, hay que eliminar aquellas situaciones que nos lleven a la pérdida de eficiencia total, así se han identificado 6 grandes pérdidas que afectan tanto a la disponibilidad de los equipos, como al rendimiento del proceso y a la calidad de los productos. Hay distintos indicadores para medir sistemáticamente las ineficiencias que se presentan a continuación.

Entre las que afectan a la disponibilidad de los equipos se encuentran las averías y los cambios o ajustes. Una avería es un tiempo de parada originado por deterioros en el equipo que tienen que ser reparados. Por su parte, los cambios o ajustes son también tiempos de parada, pero causados por cambios en las condiciones de operación, tales como los cambios entre referencias, carga y descarga de materiales e inicios de turno.

El rendimiento de los equipos se ve afectado cuando hay microparos o se pierde la velocidad. Los microparos están asociados a equipos automáticos, que se resuelven en poco tiempo con la restitución por parte del operario de las condiciones normales de funcionamiento. La pérdida de velocidad se produce cuando se reduce la velocidad de operación teórica debido al deterioro de los equipos o problemas de materiales.

Por último, las pérdidas que afectan a la calidad son los defectos de calidad y reprocesos, así como las mermas. Los defectos de calidad y reprocesos son los mismos de los que hablamos en los 7 desperdicios, mientras que una merma es una pérdida material causada bien por el diseño del producto/proceso y restricciones del equipo o por el establecimiento de las condiciones normales del equipo en el ajuste de un cambio o en una puesta en marcha.

Las aquí presentadas son solo algunas de las numerosas herramientas que se aplican tanto en Airbus como en el resto de las empresas para implantar la Filosofía Lean y perseguir el camino hacia la excelencia; como veremos en el siguiente capítulo estas estarán íntimamente relacionadas con la consecución de los objetivos del proyecto.

5 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL TRABAJO

Siguiendo con lo expuesto en el apartado anterior, se pasará a describir el proyecto a realizar durante el período de prácticas dentro de este departamento.

Es un proyecto basado en el seguimiento del progreso de la producción ya que, la medición de los procesos es clave para poder analizar las incidencias y los problemas recurrentes dentro de esta. Asimismo, tanto la visibilidad en tiempo real del estado, del progreso de la producción y las incidencias surgidas, facilita la toma de decisiones ante desviaciones del proceso teórico.

Dentro del Modelo de Excelencia de Operaciones (OES) de AIRBUS, se recoge que es necesario establecer mecanismos de seguimiento y control, siendo clave para todos los niveles de madurez de la empresa. Es por ello, por lo que surgen herramientas digitales dentro del marco de la Industria 4.0, que soporten este proceso de seguimiento, en concreto, el proyecto se basará mayoritariamente en la aplicación Digital Barchart (DBC), aunque será necesaria la colaboración de esta con las demás para obtener los resultados obtenidos. La creación de dichas herramientas fue anterior a mi incorporación, por lo que el objeto de este proyecto es garantizar la correcta implementación de las mismas en todas las áreas de la planta, así como evaluar y analizar la información que aportan y, llevar un seguimiento continuo de estas.

5.1 Localización

Airbus tiene varias sedes distribuidas por el mundo; concretamente en Europa, se encuentra en Francia, Alemania, Reino Unido y España, entre otros. Dentro de España, se localiza en Madrid, con dos sedes, una en Getafe y otra en Barajas; en Illescas, Toledo, en Puerto Real, Cádiz, en Albacete y, en Sevilla con una FAL (*Final Assembly Line*, del inglés: Línea de Ensamblaje Final) en San Pablo y una PreFAL en Tablada. Es esta última planta la que ha propuesto este proyecto y en ella se encuentra una de las sedes de la filial del grupo, Airbus Defence & Space.

Citando literalmente a la compañía, “PreFAL Tablada es una planta Multi-Programa, Multi-Producto y Multi-Cliente donde Airbus lleva a cabo no sólo la producción de conjuntos estructurales mayores para el A400M, A330 MRTT, Boeing, CN235, C295, Eurofighter, Falcon 8X o A380, sino también la fabricación eléctrica de mazos de cables, unidades de control y armarios de aviónica. Tablada además sirve como lanzadera para nuevos programas militares y es clave para Services, actuando como centro de reparación para ensamblajes críticos como el MRTT BOOM. Después de más de 75 años desde su apertura, Tablada se actualiza y moderniza constantemente con el fin de situarse a la vanguardia de la mejora continua y la Industria 4.0, además cuenta con un ecosistema único de I+D cuyo principal activo es el desarrollo de nuevos medios industriales. Como parte de la división de Airbus Defence and Space, distintos elementos de la lanzadera espacial Ariane 6 se han comenzado a ensamblar en 2019.”

5.2 Antecedentes

5.2.1 TABLADA 4.0 Factory of Future

El trabajo se desarrolla dentro del marco de “TABLADA 4.0 Factory of Future”, un proyecto más amplio que fue lanzado en 2015 con una misión, la de llevar la Industria 4.0 a la planta PreFAL de Tablada; trabajando en un plan de inversión e implementación a través de un equipo multifuncional. Dicho proyecto está dividido en 4 grandes áreas que comprenden la parte digital, en la cual nos centraremos, la física, la humana y la de innovación.

5.2.1.1 Digital Tablada 4.0

En el ámbito de la ejecución corporativa, uno de los pilares sobre los que se sustenta la transformación digital, surge esta área en el que se presentan iniciativas para mejorar las operaciones, la producción, la cadena de suministro, la logística y la planificación.

Así, sus objetivos son los que siguen:

- Proporcionar una visibilidad digital completa

- Anticiparse a los acontecimientos futuros
- Digitalizar los procedimientos existentes
- Garantizar la completa continuidad del producto digital

A continuación, se presentan las 8 Iniciativas digitales, que se han implantado en Tablada, así como en muchas otras factorías de la empresa.

Digital Barchart (DBC)

Es una herramienta web interactiva para usar en el taller que permite la asignación de trabajo y el seguimiento de la producción. Muestra la secuencia de planificación de una estación y también la información en tiempo real del estado de las tareas, permitiendo saber si una tarea se ha iniciado, si está bloqueada o si está en marcha. También muestra toda la información relevante sobre la producción, incluyendo incidencias, piezas faltantes o no conformidades.

DBC muestra el conjunto de operaciones cronológicamente, comparando los tiempos de producción teórica y real de cada operación mediante una representación de Gantt.

Performance Tracker

Es otra herramienta web interactiva para usar en el taller que permite la asignación de trabajo y el seguimiento de la producción. Muestra la secuencia de planificación de una estación y también la información en tiempo real del estado de las tareas, permitiendo saber si una tarea se ha iniciado, si está bloqueada o si está en marcha. También muestra toda la información relevante sobre la producción, incluyendo incidencias, piezas faltantes o no conformidades.

Performance Tracker es una forma diferente de agrupar la misma información que se muestra en DBC pero, empaquetando las operaciones por recursos.

Paneles SQCDP

Es una herramienta de gestión visual que implica una idiosincrasia en la forma de trabajar: comunicación o retroalimentación diaria, fluida y estructurada dentro del MFT (*Multi-Functional Team*, equipo multifuncional) en todos los niveles de gestión. Permite el intercambio de información con la posibilidad de analizar y crear gráficos de acciones pendientes, estado, tiempo de espera de las acciones y KPIs (*Key Performance Indicators*, Indicadores clave de rendimiento) personalizables con cubos de tecnología OLAP (*Online Analytical Processing*, procesamiento analítico en línea).

Además, SQCDP está conectado a DeMaT, lo que permite intercambiar información entre todos los módulos y SQCDPs, eliminando las acciones duplicadas y permitiendo que diferentes departamentos trabajen en el mismo SQCDP sin importar la localización física.

Las siglas hacen referencia a:

- *Safety*, Seguridad.
- *Quality*, Calidad.
- *Cost*, Coste.
- *Delivery*, Entrega.
- *People*, Personas.
- Adicionalmente, se incluye la letra F, haciendo referencia a *FOD* (*Foreign Object Debris/Damage*), que se refiere al daño que pueden producir todos aquellos objetos extraños a las aeronaves, situados en su área de operaciones. Su origen puede deberse al personal que trabaja en la industria, a una inadecuada supervisión o a otros factores como suciedad, animales, etc.

MEP

MEP (*Manufacturing Engineering Planner*, Planificador de Ingeniería de Fabricación) es una herramienta autónoma que ayuda a calcular un programa de producción detallado, dado un número de operaciones, restricciones de proceso y limitaciones de recursos, utilizando un conjunto de funciones objetivas (mejor *lead*

time, saturación) y calculando el camino crítico resultante. Tiene dos perfiles diferentes: uno para que la ingeniería de fabricación calcule el programa de producción estándar y otro para que lo utilicen los equipos de control y planificación de la producción para las actualizaciones del programa (gestión de incidencias y entradas). Actualmente está conectado a SAP.

Digital Work Order 2D/3D (DWO)

El objetivo de la orden de trabajo digital es cambiar el tipo de documentación que se lanza al taller con la instrucción de realizar el trabajo físico sobre el producto (aeroestructura, avión, satélite, etc.).

DWO significa evolucionar de una orden de trabajo de papel a una sin él, favoreciendo la sostenibilidad de las operaciones.

Hay dos tipos de órdenes de trabajo digitales dependiendo de su contenido (2D y 3D).

El formato en dos dimensiones es más favorable y ágil en los pedidos en los que intervienen sistemas poco complejos; en general, más en instalaciones mecánicas que eléctricas

El formato en 3D, es una solución de fabricación de Catia y un desarrollo de ingeniería colaborativa, cuyo desarrollo abarca desde la hoja de ruta hasta las instrucciones de trabajo, queriendo introducir en el modelo electrónico todos y cada uno de los entornos que definen un proceso.

One Single Flow (OSF)

Un flujo único para la incidencia es una iniciativa de digitalización destinada a proporcionar una interfaz única para el trabajador y un proceso claro y unificado para plantear, gestionar y hacer un seguimiento de los incidentes y las mejoras que puedan afectar o mejorar el proceso. Para poner en práctica esta idea, se ha desarrollado un módulo de incidencias de DeMaT que permite informar sobre diferentes tipos de incidentes y tratarlos de forma más organizada.

Remote Support

El Soporte Remoto proporciona la capacidad de apoyar los procesos de Operaciones mediante un sistema de Videoconferencia mejorado con funcionalidades adicionales integradas con los procesos de D&S de Airbus. Permite la comunicación entre las plantas y los equipos de apoyo en tiempo real.

Este tipo de sistemas permite generar un entorno de colaboración entre varios trabajadores compartiendo audio, video, fotos, documentación (en maquetas 2D y 3D) o incluso notas mejorando el intercambio de información.

Digital Control Room

La Sala de Control Digital es una iniciativa que incluye el desarrollo de cuadros de mando o layouts en DeMaT, con el objetivo de visualizar y monitorizar la información relevante (como los paneles SQCDP, el estado de los proyectos KAIZEN y TIP, las tareas, etc....) de forma agrupada, tanto en los espacios físicos reservados para este uso como desde cualquier dispositivo móvil. Estos paneles están estandarizados para todas las plantas de Defensa y Espacio de Airbus, pero los KPIs varían ligeramente dependiendo de la planta/nivel.

DeMaT

DeMaT es un proyecto y una herramienta de software creado para ayudar a los trabajadores en las actividades diarias, a los gerentes a tomar decisiones y a las unidades de negocio a ser más competitivas manteniendo y utilizando los conocimientos adquiridos.

La base de datos de DeMaT se alimenta de herramientas de monitoreo, herramientas de gestión de incidencias, capacidades específicas de los Sistemas de Ejecución de Manufactura, Sistemas de Gestión etc. y está adquiriendo cada vez más capacidades, convirtiéndolo en una poderosa herramienta de análisis, gestión y visualización de datos.

Digital Andon

El Andon digital es un sistema de gestión y vigilancia visual que puede proporcionar información esencial sobre el proceso de producción (tiempo de espera, tiempos de respuesta o avance entre otros). Además, este sistema permite a los operarios pedir ayuda cuando se produce una incidencia fuera de su ámbito (como la

falta de material, el mal funcionamiento de las herramientas, los problemas de seguridad, etc.). Cuando esto ocurre, el sistema envía automáticamente un SMS para que el MFT se ocupe de la incidencia.

Andon también tiene como objetivo controlar localmente máquinas, sistemas de energía y herramientas que promueven un entorno industrial ecológico.

5.2.1.2 Physical Tablada 4.0

En cuanto a facilitar la ejecución de los negocios a través de soluciones tecnológicas, se implantan diversas tecnologías habilitadoras como las que se vieron en el capítulo 2, con los siguientes objetivos:

- Maximizar la automatización
- Desarrollar sistemas de fabricación flexibles
- Mejorar simulación
- Diseño para la fabricación

La mayoría de estas iniciativas se están llevando a cabo dentro de la Unidad Eléctrica.

Comenzado por las I-Tablas; se genera automáticamente una orden de trabajo interactiva, que incluye toda la documentación de forma interactiva, sencilla y gráfica. Toda la documentación, relativa a la tarea actual, se muestra automáticamente en la tableta y en la superficie de trabajo y guía al operario durante el proceso de fabricación. Como complemento a la I-Tabla, surge I-Tester, que amplía sus capacidades al proceso de prueba y aprovecha el sistema de proyección. Con el I-Tester, el operario es totalmente asistido por la máquina, y navega a través del proceso con una interfaz de fácil manejo (una tableta). Todas las operaciones se muestran en la superficie de trabajo proyectando toda la secuencia de operaciones directamente desde una orden de trabajo digital.

Otras dos iniciativas completamente implementadas son ARPA y ARIADNA. ARPA (Augmented Reality Pinning assistant) es un sistema visual para la inserción de pines en los conectores utilizando la realidad aumentada. Hasta ahora, la creación del mazo eléctrico era una operación manual y rutinaria que requería gran precisión y podía llevar, como resultado, a errores de conexión. Con este sistema, una cámara está grabando el soporte ARPA y transmitiendo el vídeo a la tableta, donde el trabajador puede ver visualmente la ubicación del terminal seleccionado, permitiendo así una actuación más rápida y precisa. ARIADNA es un nuevo sistema desarrollado con el objetivo de automatizar el proceso de marcado y corte de cables. Antes de este robot, los cables tenían que ser recogidos uno por uno, agrupados y atados manualmente. Ahora, el proceso no necesita una persona cualificada y se realiza de forma automática, lo que supone un paso adelante en términos de automatización, productividad y planificación en la Unidad Eléctrica de Tablada.

En lo referido al A400M, la mayoría de las iniciativas se llevan a cabo para la fabricación del HTP, *Horizontal Tail Plane*. Vemos así TRICEPTS y Best Fit HTP.

El tríceps es una máquina de control numérico que realiza el proceso de perforación, remachado y raspado de cajas de torsión en la misma etapa. El proceso estándar anterior para las operaciones de remachado incluía el posicionamiento del agujero a través de plantillas sobre la pieza. Estas posiciones se marcaban y luego se perforaban y avellanaban. Después de eso, la operación de remachado se hacía manualmente por los operarios. Este nuevo proceso se encarga de todos los pasos necesarios para que el producto se termine automáticamente.

El software Best Fit es una herramienta basada en la tecnología de posicionamiento láser. Partiendo de la base de que una caja de torsión fabricada perfectamente no existe, la integración debe hacerse con la mayor precisión posible, evitando desviaciones adicionales. La herramienta Best Fit se alimenta de las mediciones de posición del láser, analiza algunos puntos de control específicos y calcula la posición óptima en comparación con la teórica. Finalmente, ayudado por un actuador de 6 ejes, el sistema coloca ambas cajas de torsión para ser integradas.

Destacan también las líneas móviles de fabricación y las líneas a pulso, implementadas en varias áreas como son la línea del timón del Boeing 737, la línea de pilones del A400M y la línea del C295, tanto en fuselaje e integración como en el equipamiento de la cabina.

Antes de que existiesen estas líneas móviles, el proceso de montaje se hacía en zonas aisladas. Esto obligaba a tener recursos (y herramientas) redundantes en cada posición, y no había una tasa de producción constante. Con la implementación de la línea móvil, ha sido posible mejorar y estandarizar todo el proceso de ensamblaje, reduciendo los plazos de entrega y evitando también la duplicación de recursos

5.2.1.3 Human Tablada 4.0

En orden de definir el objetivo de negocio y los objetivos corporativos, se realizan una serie de actividades, con el fin de:

- Optimizar lugares de trabajo
- Interfaz de usuario
- Proporcionar una formación adecuada, desplegar soluciones de aprendizaje y desarrollar el camino

Las dos iniciativas más destacadas en este aspecto son las siguientes:

Lanzada e implementada en 2019, encontramos ‘Learning Digital Environment Room’, esta sala de formación forma parte de una nueva estrategia de formación destinada a facilitar el cambio y la adaptación de los Blue Collars de la industria actual a la industria 4.0. Esta sala permite a los trabajadores obtener una formación autónoma, especializada y digital, mejorando sus habilidades; lo cual resulta cada vez más necesario debido a la complejidad de los proyectos que se están desarrollando actualmente.

Todavía en fase piloto, se encuentra el proyecto ‘Foreman 4.0’, el cual nació destinado a fortalecer las habilidades de liderazgo de los gerentes. Hoy en día en Tablada, más del 50% de los nuevos gerentes no han participado en el anterior proyecto de liderazgo, llamado *Agile*. Además, como hemos visto, en los últimos años Tablada ha llevado a cabo una revolución digital que ha cambiado significativamente las rutinas de trabajo en los talleres. Es por ello, por lo que el objetivo de este proyecto es fortalecer las capacidades de liderazgo de los directivos durante el desempeño de su trabajo y adaptarlas a la filosofía digital, convirtiéndolas en un impulsor de las iniciativas digitales.

5.2.1.4 Innovative Ecosystem Tablada 4.0

El Área de Ecosistemas de Innovación es un espacio de talleres donde se definen, gestionan y ponen en marcha proyectos de innovación para la fábrica física del futuro.

Es un caldo de cultivo de la innovación en el que la cooperación del personal de oficina y taller en proyectos de ingeniería de fabricación hacen posible un cambio de mentalidad para que la innovación vaya más lejos y más rápido a través de la participación en los mismos y su difusión.

El área del ecosistema de innovación se ha dividido en áreas tecnológicas (Robótica e Integración de Sistemas, IoT1, Simulación, Prototipos Rápidos y Fabricación de Aditivos), con el fin de mejorar el desarrollo de los pilares de la Industria 4.0.

5.3 Alcance

En este apartado se pretende dar a conocer el rango de aplicabilidad de este proyecto, es decir, aquellas áreas y sectores donde se implementará. Dentro de un proyecto es fundamental saber a quién irá dirigido, ya que depende de la población afectada se tomarán una u otras decisiones y se llevarán a cabo determinadas acciones de cara a favorecer el correcto desarrollo de este.

Es por ello por lo que a continuación se definen cada una de las áreas implicadas dentro de ese proyecto:

- Ariane 6
- A400M, que a su vez se divide en distintas líneas de montaje:
 - HTP, *Horizontal Tail Plane*
 - Pilonés

- Carenas
- PWP, *Power Plant*
- Falcon 8x
- LTA
- MRTT BOOM
- Unidad Eléctrica, actualmente solo se usa en la línea del Rack de Aviónica.

5.4 Metodología y gestión operativa

5.4.1 Definición del equipo.

El equipo del proyecto está formado por todos los miembros del Departamento de P&I, ya que como se mencionó anteriormente, cada uno de ellos es el responsable de promover la Industria 4.0 en cada una de las áreas.

Por su parte, yo seré la administradora del proyecto, encargada de llevar a cabo todas las acciones a seguir durante este período de tiempo, de fomentar la relación oficina-taller, así como de conseguir que se realice un trabajo en conjunto entre estas distintas áreas, para lograr los objetivos comunes de la empresa.

5.4.2 Planificación del trabajo.

Este proyecto se puede clasificar o dividir en distintas etapas, siguiendo los principios de Lean Manufacturing, secuenciadas de tal forma que alcancemos el objetivo final sin destender ningún aspecto crucial del mismo.

Primera etapa: Formular el problema.

En este caso, la motivación principal para llevar a cabo este proyecto es la de mejorar considerablemente el grado de madurez digital de la empresa.

Para ello, se ha elegido el estudio de esta herramienta digital de entre todas las posibles, por dos motivos fundamentales:

- A diferencia de las demás, todavía no está siendo usada en todas las líneas de montaje y, en aquellas en las que sí, se reporta una gran variabilidad de actividad entre unas y otras.
- Es la que más incidencias y problemas reporta por parte de taller, si bien debería ser una aplicación que facilitase el trabajo diario de los operarios.

Segunda etapa: Análisis del problema.

En esta segunda etapa, se tratará de encontrar los errores/fallas que dan lugar a los dos factores anteriormente mencionados, que propician que la aplicación no esté proporcionando los resultados esperados.

Analizando distintos factores que afectan a la calidad, siguiendo el Modelo de Mc Call, que basándose en la norma ISO 9126, plantea un modelo normalizado que permite evaluar la calidad de una aplicación web como la que estudiamos. La calidad, queda definida de esta forma por seis características: funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, portabilidad, mantenibilidad y eficiencia.

Funcionalidad

La funcionalidad se puede medir según si las funciones satisfacen necesidades declaradas o implícita, no lo hacen.

En este caso, la funcionalidad de la aplicación es bastante alta y necesaria tanto para el control de la producción por parte de los distintos departamentos como para declarar las operaciones dentro de la línea de montaje.

Fiabilidad

La fiabilidad es la capacidad de un sistema para mantener su nivel de rendimiento.

En este aspecto radica uno de los problemas principales que presenta la aplicación, ya que al no estar completamente desarrollada presenta numerosos problemas informáticos, los cuales hay que escalar para su resolución, incurriendo en grandes pérdidas de tiempo para aquellos operarios que la necesitan para realizar su trabajo cotidiano, así como de los departamentos soporte encargados de solucionarlas.

Usabilidad

El estándar ISO 9126 define la usabilidad como *la capacidad de un producto software de ser comprendido, aprendido, usado y de ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso.*

Para poder estudiar esta cualidad abstracta, la descompondremos en distintos atributos:

- **Facilidad de aprendizaje.** Aquí es donde se ha detectado la causa raíz de los problemas derivados del mal uso de la aplicación; ya que teniendo en cuenta que la mayoría de la población que la usa no está familiarizada con el entorno digital, resulta difícil que se familiaricen al ritmo esperado con la misma.
- **Recuerdo en el tiempo.** Por su parte, este es uno de los puntos fuertes de la aplicación, ya que su uso es muy mecánico y una vez comprendido e interiorizado no requiere de nueva formación.
- **Atractivo.** La interfaz como se verá más adelante posee un diseño muy sencillo y parecido a las hojas de planificación que se usaban en papel anteriormente, por lo que esto no supone ningún problema adicional.

Portabilidad

La portabilidad es la capacidad de un sistema para ser transferido de un entorno a otro.

En este caso, a la aplicación se puede acceder desde todos los ordenadores de la planta, pero su uso por parte de los operarios se realiza desde los ordenadores situados en cada fase de montaje, instalados como puestos quiosco. La mayoría de estos ordenadores acaba de sufrir una actualización que no permite el uso de Internet Explorer y usa Google Chrome como navegador predeterminado, originando problemas ya que esta aplicación está diseñada para su uso a través de Internet Explorer y, se están reportando numerosos errores debido a esto.

A su vez, si un operario debido a la operación que realiza necesita estar dentro del fuselaje del avión y usar una Tablet para agilizar el trabajo y evitar desplazamientos innecesarios, se enfrentará al problema de que la resolución de la aplicación tampoco está bien adaptada y desarrollada para su uso en estas.

Mantenibilidad

La mantenibilidad es el esfuerzo necesario para realizar las modificaciones necesarias.

Al ser una aplicación de carácter global, conectada con muchas otras, su mantenibilidad es bastante complicada, ya que cualquier cambio que se realice en la misma puede afectar a las demás. Además, como es una aplicación que aporta información a tiempo real y diariamente, es difícil probar las modificaciones que se realicen y que examinar mucho las soluciones planteadas antes de lanzarlas.

Eficiencia

Es la relación entre el nivel de prestaciones de un sistema y el volumen de recursos utilizados en condiciones declaradas.

Como hemos visto, el nivel de prestaciones de este sistema es bastante completo y junto a un análisis de esta podemos obtener toda la información requerida.

Sin embargo, según sea la línea de montaje en la que se implementa el volumen de recursos necesarios será muy alto o no. Para poder implementar DBC, antes de que comience la producción, Ingeniería de Producción debe entregar una planificación que se conoce como línea base. Esta planificación tiene que estar balanceada y debe

haber tenido en cuenta precedencias y exclusiones tanto técnicas como operacionales. Tiene que ser también factible técnicamente y de acuerdo con la capacidad de los grupos de producción. Esta planificación tiene que estar acordada dentro de un MFT, junto con, al menos, los departamentos de Ingeniería de Producción, Planificación/Control de Producción y Producción + Calidad. La planificación debería tener en cuenta todas las tareas a realizar en el área, incluyendo tareas de fabricación montaje, verificación e incluso tareas subcontratadas que consuman tiempo de la línea.

Muchos son los requisitos de esta planificación. En las líneas a pulso y aquellas estandarizadas, una vez implementada esta herramienta, solo será necesario volver a lanzar la misma planificación para todos los aviones que se produzcan. El aumento de recursos ocurre en líneas como la de LTA, en la que se fabrican aviones personalizados, o en la Unidad Eléctrica, donde se fabrican mazos eléctricos para aviones distintos cada vez, lo que hace que la planificación requiera bastante más tiempo y muchas veces no esté disponible en el momento en el que debería empezarse a fabricar un nuevo avión, retrasando todo el proceso y la entrega final al cliente.

Tercera etapa: Propuesta de soluciones

Para cada uno de los problemas detectados en la etapa anterior, se ha propuesto una solución que se ha llevado a cabo en este período de tiempo.

En cuanto a las medidas adaptadas para mejorar la fiabilidad y reportar con mayor eficiencia los fallos informáticos, se ha creado un **grupo soporte del departamento** en la herramienta DeMat, a través de la cual los operarios nos comunican las incidencias. La propia aplicación no permite el contacto directo con Informática, por lo que anteriormente, cuando los operarios detectaban algún problema en DBC, debían salir de la aplicación, abrir otra y desde esta, comunicar el fallo a Informática, perdiendo mucho tiempo y propiciando que estos errores, si bien muchas veces repetitivos, no quedasen archivados ni registrados.

Con esta solución, se pretende tener un seguimiento total de los fallos informáticos que ocurren en la aplicación, poder archivarlos a través de la creación de un fichero dedicado a esto y, detectar aquellos que son repetitivos, para encontrar su solución raíz y evitar que vuelvan a afectar a estos usuarios o a otros.

Otro de los errores muy comunes a la hora de cualquier proceso de digitalización, es la falta de cultura digital. En el caso de la implementación de esta herramienta, esto ha supuesto un primer rechazo al control de las operaciones de manera digital, dejando de lado el uso de papel y, ha propiciado numerosos problemas de uso.

Para solucionar lo anterior, se han realizado **formaciones periódicas**, tanto para toda la línea de montaje en general, como para aquellos que están menos familiarizados con este entorno digital y así lo han solicitado. Las formaciones se han hecho siempre en horario de trabajo y, con la duración máxima de una hora. Debido a la situación en la que nos encontramos actualmente y la imposibilidad de realizar reuniones numerosas presenciales, se han elaborado **dos vídeos** explicando el correcto uso de la aplicación, puestos al alcance de todos los mandos de área y operarios de la planta que lo necesiten. Asimismo, se ha creado un **documento interno** de mayor extensión, subido a la red, en el cual se expone con mayor detalle el funcionamiento de la aplicación.

A su vez, como se ha mencionado anteriormente, se han detectado los fallos de uso más comunes y se ha desarrollado un breve **fichero con las reglas de oro de uso de DBC**, el cual se ha colocado en cada uno de los ordenadores de taller, para promover el buen uso de la herramienta y evitar así que estos errores ocurran.

Por último, se detectó el problema de que las fechas de planificación y lanzamiento no coincidían. Si bien la planificación no es objeto de nuestro departamento, se ha creado un **documento Excel** en el que se recogen todas las fechas en las que se deben lanzar en DBC las operaciones de los próximos aviones y a través de una serie de cálculos, las fechas en las que debería estar entregada la planificación por parte de Ingeniería de Producción. Gracias a un código de colores, se puede detectar fácilmente si la planificación se está haciendo a tiempo o no y, así comunicárselo a Producción para que se pongan a ello.

Cuarta etapa: Seguimiento de soluciones

Todas las soluciones planteadas, necesitan actualizaciones o revisiones periódicas, para garantizar su eficiencia.

Respecto a los fallos informáticos, se realiza una reunión interna semanal, en la que comentamos los errores que se han detectado y observamos si estos han sido resueltos o no, volviéndolos a abrir en caso de que sea necesario y, nos acercamos a taller cada vez que aparece uno para comunicarle a los operarios el problema que está

5.5.2 Documento 1: "Production Tracking Method"

En este documento se definen todos los conceptos previos que es necesario conocer para entender el funcionamiento de la herramienta y, se describe el proceso que hay que seguir una vez se va a usar la misma.

5.5.2.1 Definiciones

Barchart

Un Barchart es una representación gráfica a través de un diagrama de Gantt de las tareas a realizar por un grupo o área de trabajo, normalmente una estación de montaje. En esta visualización, aparecen en el eje vertical las tareas a realizar y en el horizontal el marco temporal, como se puede ver en a figura 15.

Es fruto de una planificación balanceada con el objetivo de saturar la producción, optimizar los recursos y evitar desperdicios.

El nivel de granularidad de las tareas a realizar, y por lo tanto del seguimiento, ha de hacerse al mismo nivel que se utilice para planificar, normalmente: operaciones relativas al proceso de producción.

La aplicación Digital Barchart no es sólo una herramienta de visualización, es un elemento interactivo: debe servir a Producción como herramienta para asignar trabajo, declarar las tareas que realiza, el estado de progreso de estas y declarar y seguir los problemas que surgen durante su ejecución, así como para tener visión de la disponibilidad de los materiales necesarios.

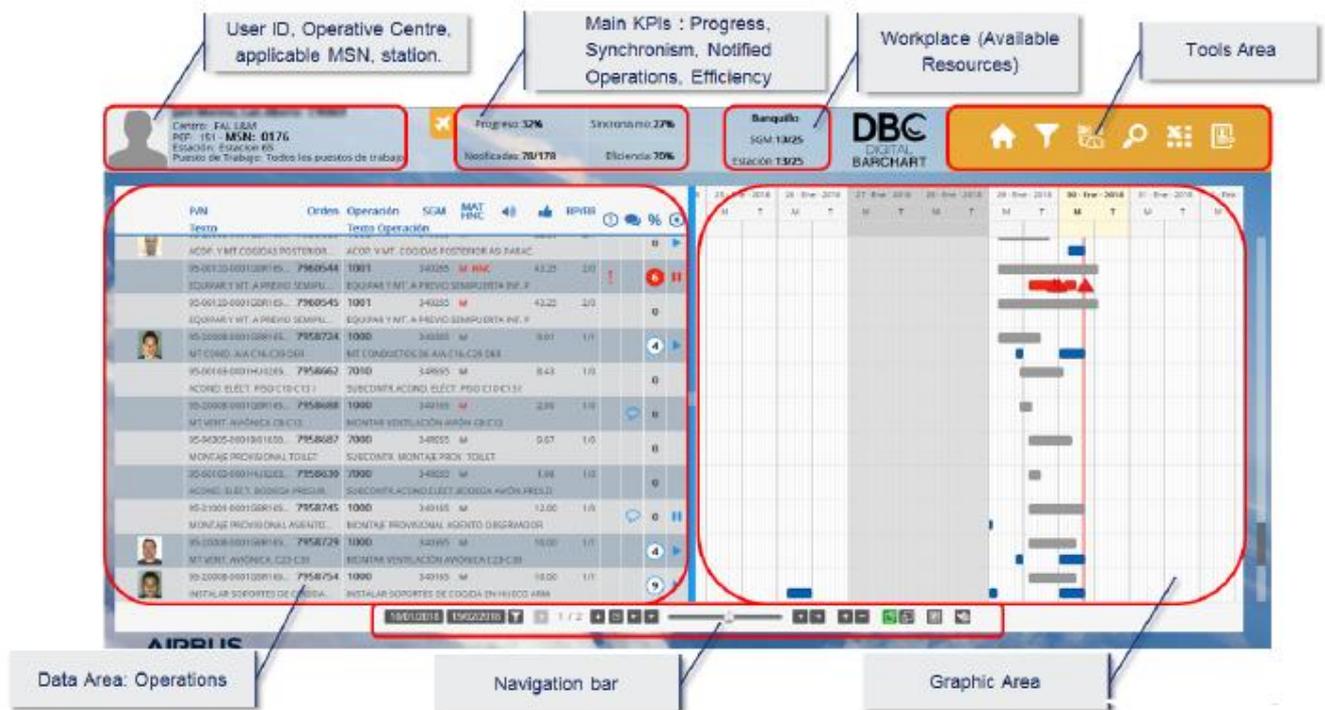


Figura 16.: Interfaz principal DBC.

Balanceo de línea

Para conseguir una asignación de tareas estándar equilibrada según el takt

Es la asignación del trabajo a los distintos puestos dentro de un Grupo Natural de Trabajo (GNT), estación, área, etc.; para asegurar que podemos cubrir la demanda del cliente de acuerdo con el takt time definido.

El resultado es una gráfica, ver la siguiente figura, que muestra el trabajo asignado a cada trabajador y en qué secuencia debe ser realizado el trabajo:



Figura 17.: Balanceo de línea.

Takt Time

Takt time es el tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción de la siguiente, cuando dichos inicios son establecidos para coincidir con la tasa de la demanda del cliente; es decir, el ritmo al que deben ser producidas las unidades.

El takt time se utiliza para:

- Determinar la mano de obra requerida para un producto (nº mínimo de personas para alcanzar la salida del producto final al ritmo de demanda del cliente).
- Balancear la carga de trabajo entre todos los operarios.

Como se ve, el takt time es definido por los clientes y no por la empresa, por lo que debe diferenciarse del 'tiempo de ciclo', el cual consiste en las unidades de tiempo requeridas para la fabricación de una pieza que, es establecido en función de la naturaleza del producto y el rendimiento de la empresa.

MES, Manufacturing Execution System

Los sistemas de ejecución de fabricación (MES) son soluciones de software que garantizan que la calidad y la eficiencia estén integradas en el proceso de fabricación y que se ejecuten de manera proactiva y sistemática. Los sistemas de ejecución de fabricación conectan varios sitios e información de producción de los proveedores y se integran fácilmente con equipos, controladores y aplicaciones. El resultado comporta la visibilidad, el control y la optimización integrales de los productos y procesos en toda la empresa.

Así, DBC está interconectado con todos los sistemas que, como él, forman parte del MES. La mayoría de las interfaces poseen una comunicación en tiempo real, salvo los *inflows* y cambios en fechas en la planificación, que actualmente se refrescan una vez al día.

El resto de los sistemas que conforman el MES son:

- SIPLA, un sistema de explotación en planta, a través del cual se notifican las órdenes y horas incurridas.
- DeMaT, un sistema de gestión de incidencias.
- SAP, un ERP, *Enterprise Resource Planner*, que sirve para gestionar y planificar los recursos.
- MEP, aplicación que planifica la producción según el PEF y MSNs, a partir de la cual se muestra la información en DBC:

5.5.2.2 Proceso y flujo de seguimiento

Flujo general

El proceso de seguimiento de la producción es continuo, pero se puede circunscribir al transcurso de un turno. En general el flujo de trabajo sería el siguiente:

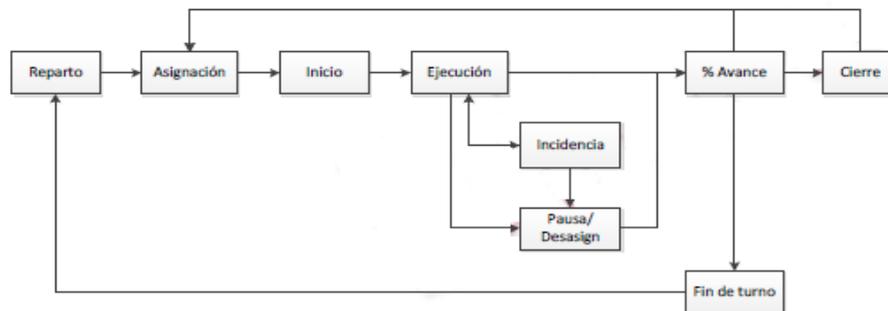


Figura 18.: Proceso global DBC

Tanto el método como los sistemas digitales ofrecen muchas formas de llevar a cabo las acciones, pero existe una Golden Rule que es de obligado cumplimiento: hay que declarar lo que ocurre en tiempo real. Esto incluye soportes, incidencias, problemas y grados de avance, pero también indicar en qué se está trabajando y cuándo.

1. Reparto de tareas

Al inicio de cada turno de trabajo, durante la reunión de nivel N1 se estudiará el estado de la producción analizando la situación de la producción mediante el uso del Barchart o del Performance Tracker. Se deben tener en cuenta el estado de los soportes abiertos, posibles faltas o HNCs, Hojas de No Conformidades, y también la información de solape que pueda haberse generado por el turno anterior. Posteriormente, el Team Leader/Mando será el encargado de repartir las tareas a cada uno de los miembros del grupo de trabajo disponibles. El reparto del trabajo deberá hacerse de tal forma que se respete siempre que sea posible la **secuencia** establecida. Debe evitarse cualquier motivo sin fundamento técnico.

2. Asignación

Una vez repartido el trabajo, comenzará la asignación. Al asignarnos o dar comienzo a una operación el sistema hará una asignación automática a un recurso, de manera que las vistas entre DBC/PCT sean intercambiable en todo momento

Esta puede hacerse:

- Por el Team Leader/Mando, en cuyo caso, si usa DBC/DPT puede asignar el trabajo o recurso a todos los miembros del equipo.
- Individualmente, cada trabajador se puede asignar a la tarea/recurso designado.

Por otra parte, la asignación podrá hacerse desde:

- DBC (asignación a operación), clicando en la celda a la izquierda de la operación a asignarse.
- De forma automática, al dar un comienzo o “play” desde otras aplicaciones del MES:

3. Inicio/Declaración de comienzo

Es responsabilidad de cada trabajador declarar los periodos de inicio de actividad en tiempo real. Sin importar cómo se haga, este paso es totalmente indispensable y de obligatorio cumplimiento. Además, la declaración de los periodos de actividad (play/pause) es esencial para el cálculo del KPI de Eficiencia del Proceso.

El comienzo/inicio/play puede hacerse:

- Se realiza un “play” automático al hacer la asignación a la operación.
- Se puede dar “play” después de una pausa en la ventana de período de actividad.

4. Ejecución

Una vez iniciada una operación, sobre esta se pueden realizar diferentes acciones dependiendo de las necesidades que se requieran en cada momento. Así pues, se detallan las principales acciones posibles:

- Declaración de avance o cierre de la operación.
- Pausarse, “desasignarse” y reasignarse a otra operación.
- Agregar comentarios.
- Apertura y consulta de Soportes.
- Consulta del BoM, Bill of Materials, y de las faltas de materiales.
- Consulta de HNCs (Estado, causa, disposición y materiales asociados).

5. Soporte

Durante la ejecución de las operaciones se puede dar el caso de que surjan incidencias y soportes necesarios que impidan el correcto desarrollo de la actividad o incluso que la bloqueen, es por ello por lo que se vuelve imprescindible la declaración de estas y se define por tanto como un aspecto de obligado cumplimiento.

Dependiendo del tipo de soporte declarado, el operario podrá continuar con la operación (previa declaración de esta en el sistema) o le obligará a pausar y/o “desasignarse” de la misma y continuar con otra.

El criterio completo sobre lo que supone un soporte y el procedimiento concreto de cómo gestionarlos se define en el método del One Single Flow

6. Declaración de avance

Se permite declarar avance en cualquier momento, aunque será obligatorio hacerlo en los siguientes casos:

- Al final del turno de trabajo.
- Al pausar una actividad.
- Al cierre/fin de la operación (automático): El máximo grado de avance permitido es 99% (o el 98% si no se cuenta con Calidad Delegada). Se completará al 100% cuando la operación se notifique en el sistema.

Se podrá hacer desde:

- DBC, en la columna de progreso o en la de períodos de actividades.
- DPT, desde la ventana de períodos de actividad o desde la lista de operaciones del recurso.
- Otras herramientas del MES:

La declaración del grado de avance es esencial para el cálculo del KPI de Adherencia. Se calculará a final de slot (hora, turno, día)

7. Notificación de fin

Cuando una operación está completada el avance se corresponde con el 99%. Como se vio anteriormente, este grado de avance se realiza mediante una declaración manual.

Dependiendo del modelo de notificación de cada programa, DBC permitirá la notificación directa o facilitará el salto al sistema donde se pueda notificar el cierre.

Una vez notificado, el estado pasará a finalizado y el grado de avance se completará al 100%.

8. Incurridos

Existen dos modelos de incurridos en la empresa:

- **Incurridos a estándar:** Se incurren automáticamente los tiempos teóricos de cada operación. La diferencia con la presencia va directamente a pérdidas.
- **Incurridos a real:** Se incurren de forma manual las horas de trabajo empleadas en cada operación. Para facilitar esta operativa, en el futuro se utilizarán los inicios o “plays” de DBC o DPT para declarar un comienzo en incurridos. Se incurrirá toda la presencia a una operación desde el último comienzo de incurrido (“play” declarado) hasta el siguiente.

5.5.3 Documento 2:” DBC.Reglas de Oro”

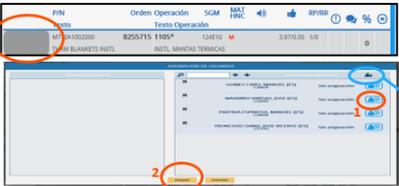
El uso incorrecto de Digital Barchart deriva en muchos errores y, la mayoría de estos se han clasificado en errores en el momento de la asignación, en la declaración del avance y, sobre todo, a la hora de realizar modificaciones de fecha y hora manualmente ya que el objeto final de la herramienta es conocer lo que ocurre a tiempo real, por lo que no está diseñada para estos cambios.

En este documento se definen los mismos pasos que en el anterior documento y, la forma correcta de hacerlos, de una manera más gráfica y sencilla.

DEFENCE AND SPACE

DBC REGLAS DE ORO

1. ASIGNACIÓN DE USUARIOS



Seleccionar la operación que corresponda.
Para **Operarios**: autoasignación

Para **Team Leaders**: Se abrirá la ventana con el listado de todos los usuarios del GNT. Selecciona tu usuario dándole al + y Aceptar.

Buscar otros operarios de la línea de montaje.

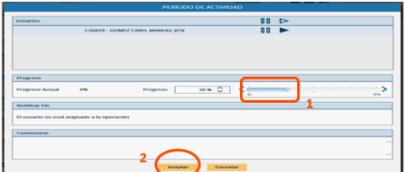
2. PLAY/PAUSE



Al asignarse, la operación se pondrá en **PLAY**. Podrás ver tu usuario y el símbolo en la operación correspondiente.

La operación se para cuando se da al símbolo del **PAUSE** o te logas en otra operación.

3. AVANCE



Si no se ha terminado la operación se le debe dar el avance correspondiente en la barra de progreso de la ventana PERIODO DE ACTIVIDAD que aparece al pausar la operación:

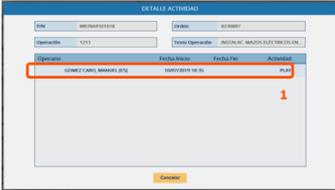
1Julio 2020 DBC Golden RulesAIRBUS

Figura 19.: DBC Reglas de Oro. Pág.1

DEFENCE AND SPACE

DBC REGLAS DE ORO

4. MODIFICACIÓN DE FECHA Y HORA





 Evitar modificaciones en la medida de lo posible.

Si se trata de la primera operación del turno podrás utilizar la opción de ACTUALIZAR ACTIVIDAD para modificar la **hora de comienzo**.

Para modificar la **fecha de fin** hay que estar DESASIGNADO. Hay que cambiar una fecha ya existente pero nunca introducir una nueva manualmente.

5. APERTURA DE INCIDENCIAS Y COMENTARIOS




Incidencias: se deben notificar todas aquellas incidencias que requieran algún grupo soporte para su resolución, de la manera más precisa posible.

Comentarios: se puede comentar lo que se crea conveniente y útil tanto para nosotros como para el resto de compañeros.

AIRBUS

Figura 20.:DBC Reglas de Oro. Pág.2

5.5.4 Documento 3:” DBC. One Single Flow”

Como ya se vio, dentro de las ‘8 Iniciativas Digitales’ se encuentra el proyecto One Single Flow, desarrollado para plantear, gestionar y hacer un seguimiento de los incidentes y las mejoras que puedan afectar o mejorar el proceso. Para poner en práctica esta idea, se ha desarrollado un módulo de incidencias de DeMaT, el cual puede alimentarse desde DBC.

Sin embargo, se observa que muchas veces es complicado discernir entre los siguientes aspectos: mejoras, incidencias, comentarios, bloqueos y servicios. Por tanto, este documento se ha creado con la intención de definir estos y establecer directrices para diferenciarlos claramente.

Mejora

Una mejora es una propuesta de comunicación que aparece en un algún momento del proceso productivo relativo a cambiar lo establecido en el proceso nominal de una operación y/o cuando está planificada, siempre y cuando el nominal puede ser seguido y alcanzado en su totalidad. La viabilidad de las mejoras han de ser valoradas y pueden conllevar un ahorro en tiempo, en costes, en ergonomía o/y en seguridad, entre otros

Las mejoras declaradas pueden ser tratadas directamente en el punto de soporte generado en DEMAT y/o escaladas/enviadas a tareas/proyectos dentro del TIP asociados al área

Incidencia

Una incidencia es una necesidad de comunicación que aparece en un algún momento del proceso productivo porque se impide realizar de forma nominal una operación, tal como está establecida, planificada y con el contexto industrial establecido, y requiere una respuesta de un Departamento Soporte.

Con esta designación, solo se gestionarán aquellas que no son consideradas bloqueantes.

La declaración de una incidencia no debe confundirse con la mejora, ya que:

- Solo se considera mejora si el proceso “as is” es realizable y se propone un “to be”

- La capacidad de respuesta de la incidencia ha de establecerse en Horas/Días.

Comentario

Es la vía básica de información de información auxiliar en el taller y cuenta con distintas posibilidades de soporte y formato por lo que la decisión de su gestión es propia de la población emisora/receptora.

Algunos ejemplos de uso son los siguientes:

- Señales de avance de ejecución
- Información relevante en solapes de turnos
- Preavisos o anotaciones para posterior entrada de datos o apertura de notificaciones de mayor nivel de acuerdo con la escala anterior

la declaración de una mejora no debería hacerse a través de comentario; al igual que una incidencia no es un comentario.

Bloqueo

Es una necesidad de comunicación que aparece en un algún momento porque queda bloqueado, total o parcialmente, el proceso productivo de una operación tal como está establecida, planificada y con el contexto industrial esperado; implica una respuesta urgente de un Departamento Soporte. Se considera que el bloqueo es producido o potencialmente producido en el intervalo de la jornada laboral.

La capacidad de respuesta ante este tipo de soportes ha de establecerse en minutos/horas.

si la situación potencial es detectada varios días a la vista, se debe gestionar inicialmente como una incidencia, dado que en el momento de la solicitud de soporte no requiere dicho nivel de urgencia.

Servicio

Es una necesidad de comunicación que aparece en un algún momento del proceso productivo porque se requiere la presencia de personal, de un medio productivo o de una acción concreta. Los servicios pueden ser de dos tipos:

- Planificados: se preavisa de una necesidad conocida (e.g. carga de batería, presencia de equipo, etc.) ubicando el aviso en la situación temporal concreta dentro de la planificación.
- No planificados: ídem anterior en situaciones no conocidas o en situaciones conocidas donde la necesidad real ha cambiado de ubicación temporal.

Si el servicio pretende activar una respuesta urgente, debe usarse el bloqueo.

5.5.5 Documento 4:” Planificación MEP/DBC”

El siguiente documento ha sido realizado para coordinar las actividades de planificación de los próximos aviones y garantizar que DBC va a estar actualizado y sin errores en el momento en el que se comienza a fabricar un avión.

A continuación, puede verse la plantilla de este documento, ya que la información ha sido eliminada por temas de confidencialidad.

Línea	SGM	Fase	Avión Actual en posición de montaje	DBC del MSN actual disponible	Ruta depurada	Dinámica de publicación de nuevos MSNs superada	Actividad de uso	Cultura de uso en taller	Conexión con incurridos
HTP	124B10	F0							
		F1LH							
		F1RH							
		F4 LH							
		F4 RH							
		F5							
		F6 LH							
		F6 RH							
		F7-8-9							
		FSF	124C10						
Pilones PWP	124E10	FSFA400M							
		MOTOR 1							
		MOTOR 2							
		MOTOR 3							
Barquillas	124D10	MOTOR 4							
		F1-MOTOR 1							
		F1-MOTOR 2							
		F1-MOTOR 3							
		F1-MOTOR 4							
		F2-MOTOR 1							
		F2-MOTOR 2							
		F2-MOTOR 3							
		F2-MOTOR 4							
		LOWER DOOR CON-MOTOR1							
		LOWER DOOR CON-MOTOR2							
		LOWER DOOR CON-MOTOR3							
		LOWER DOOR CON-MOTOR4							
		Puertas	124D10	PUERTA 1-MOTOR 1					
PUERTA 1-MOTOR 2									
PUERTA 1-MOTOR 3									
PUERTA 1-MOTOR 4									
PUERTA 2-MOTOR 1									
PUERTA 2-MOTOR 2									
PUERTA 2-MOTOR 3									
PUERTA 2-MOTOR 4									
PUERTA 3-MOTOR 1									
PUERTA 3-MOTOR 2									
PUERTA 3-MOTOR 3									
PUERTA 3-MOTOR 4									
PUERTA 4-MOTOR 1									
PUERTA 4-MOTOR 2									
PUERTA 4-MOTOR 3									
PUERTA 4-MOTOR 4									
LTA		LTA F0							
		LTA F1							
		LTA F2							
		LTA F3							
BOOM MRTT	12332C	LTA F4							
		ALETAS							
		EQUIPADO BOOM							
		FUERA GRADA INTEGRACIÓN							
HTP F8X	124A10	INTEGRACION GRADA							
		SECCIONES ESTRUCTURA							
		F1 LH							
		F1 RH							
		F2 LH+FUERA GRADA							
Rack	125837	F2 RH+FUERA GRADA							
		F3+F3BIS							
		F4SFOG+F4VEOO							
Lower	124H10	BLOQUE 1							
		BLOQUE 2							
		BLOQUE 3							
ESR	124H10	BLOQUE 1							
		BLOQUE 3							
Upper	124H10	BLOQUE 1							
		BLOQUE 2							
		BLOQUE 3							

Figura 21.: Despliegues DBC

Implementación y mejora de la digitalización del sistema de seguimiento del avance de la producción55
 en el marco de la industria 4.0 dentro del sector aeroespacial.

Área	Línea	Fase	Avión Próximo	DBC Publicado	Fecha inicio producción	Fecha necesidad publicación DBC	
A400M	HTP	F0					
		F1					
		F2					
		F3					
	F4						
	FSF	F0					
	Pilones PWP	F0					
	Barquillas	F1					
			F2				
		Puertas	F0				
Militares	LTA	F0					
	LTA	F1					
	LTA	F2					
	LTA	F3					
	LTA	F4					
Civiles+Derivados	BOOM MRTT	F0					
	HTP F8X	F0					
Unidad Eléctrica	Rack	F0					
ARIANE 6	Lower	F0					
	ESR	F0					
	Upper	F0					

Figura 22.: Planificación DBC

Área	Línea	Fase	Avión Próximo F0	MEP Publicado	Fecha inicio MEP	Tiempo estimado de programación (horas)	Fecha prevista MEP	Fecha necesidad MEP	Fecha necesidad publicación DBC	
A400M	HTP	F0								
		F1								
		F2								
		F3								
	F4									
	FSF	F0								
	Pilones PWP	F0								
	Barquillas	F1								
			F2							
		Puertas	F0							
Militares	LTA	F0								
	LTA	F1								
	LTA	F2								
	LTA	F3								
	LTA	F4								
Civiles+Derivados	BOOM MRTT	F0								
	HTP F8X	F0								
Unidad Eléctrica	Rack	F0								
ARIANE 6	Lower	F0								
	ESR	F0								
	Upper	F0								

Figura 23.: Planificación MEP

Este documento también sirve para aportar al lector una clasificación ordenada de las áreas/programas, así como de las líneas de montaje de la planta y las fases que componen cada una de ellas.

5.6 . Elementos de análisis. KPIs

5.6.1 KPIs automáticos

Dentro de la herramienta, en la parte superior se muestra un resumen de los 4 KPIs principales que se miden, estos indicadores se actualizan en tiempo real conforme al proceso que se está ejecutando en planta. Estos indicadores se calculan en función de los parámetros de entrada con los que hayamos accedido a DBC, ver la siguiente figura:

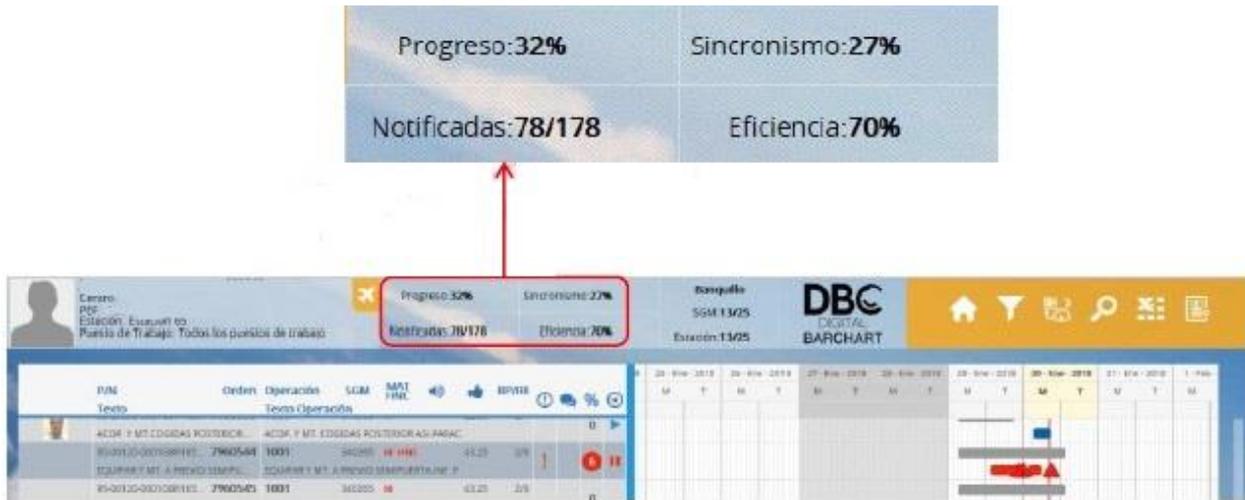


Figura 24.:DBC KPIs

Progreso

El progreso se define como el porcentaje de avance total del trabajo realizado respecto del total a realizar en la estación o SGM, Sesión Grupo-Máquina, para ese avión.

Se calcula en función del avance declarado ponderado con la duración de cada tarea, por lo que para su cálculo es necesario declarar este avance

Es independiente de cuánto se ha tardado en realidad (eficiencia) y de si las tareas se han realizado en la fecha planificada (adherencia).

$$Progreso (\%) = \frac{Tiempo\ avance\ operaciones}{Tiempo\ total} = \frac{\sum(\%avance\ operación * Tiempo\ total\ de\ la\ operación)}{\sum Tiempos\ total\ de\ la\ operación}$$

Eficiencia

La eficiencia del proceso se define como el indicador que compara la duración real de los trabajos y la duración planificada según los concedidos. De esta forma, si se ejecuta una operación empleando justo el tiempo concedido, la eficiencia será del 100%, si se hace en la mitad de tiempo, la eficiencia será del 200% y se hace en el doble, el 50%.

Se compara el tiempo real dedicado (el declarado a través de los plays/pausa) que se ha empleado para realizar los trabajos con los concedidos de las operaciones de la orden y se muestra como un porcentaje.

Para el cálculo de la eficiencia del proceso es necesario saber cuánto se ha dedicado a cada operación, por lo que es imprescindible para su cálculo la declaración de cuándo se está trabajando en una operación (inicio, pausa y fin).

Es independiente de si las tareas se han realizado en la fecha planificada (adherencia).

$$Eficiencia(\%) = \frac{\sum(Tiempo\ total\ de\ la\ operación * \% Avance\ operación)}{\sum(Tiempo\ real\ de\ la\ operación)}$$

Operaciones notificadas

El indicador de operaciones notificadas muestra en valor absoluto el número de operaciones cerradas/notificadas actuales (incluidas las cerradas en adelanto o atraso) frente a las que tendría que haber cerrado en la fecha actual.

Se muestra como cociente sin calcular el valor numérico:

$$Notificadas = \frac{Operaciones\ cerradas}{Operaciones\ que\ se\ deberían\ haber\ cerrado}$$

Adherencia

La adherencia mide los trabajos que se han realizado dentro de los slots en los que estaban planificados, de forma que será el 100% si todos los trabajos se han realizado en el slot correspondiente. El slot se define como el periodo de tiempo, dependiente del takt, en el que se van a controlar los trabajos que se tienen que realizar para el cálculo de la adherencia

Para medir que se ha hecho lo que se tenía que hacer en el slot, se utilizará el grado de avance (ponderado con las horas teóricas) declarado al final de cada slot y se comparará con el grado de avance teórico de cada operación que debería tener a final del slot. Por ello es necesario declarar el grado de avance de cada operación antes del fin del slot.

Es independiente de cuánto se ha tardado en la ejecución (eficiencia de la operación).

Hay que tener en cuenta que las operaciones cerradas en adelanto (respecto a lo planificado) no mejoran este KPI.

5.6.2 Otros análisis

Desde DeMaT, tenemos acceso a una potente herramienta para realizar análisis y comprobar, así como ha resultado (o está resultando) la ejecución en producción, pudiendo representar en tabla o gráficamente todos los parámetros que se recopilan durante la misma; como, por ejemplo: operaciones abiertas/cerradas, nº de soportes, concedidos, tiempos reales, etc

Asimismo, se podrá configurar de tal forma para que muestre información agregada a nivel de estación o línea de producción, actuando a efectos de Production Control Board o Control Room.

Estos análisis se verán más adelante en el modelo de madurez digital, que dará fin a este proyecto.

5.7 . Resultados obtenidos y mejoras identificadas

5.7.1 Madurez digital

El despliegue de ‘Tablada4.0 FoF’ y ‘Las 8 Iniciativas Digitales’ en los últimos años ha transformado la forma de trabajar en las operaciones. Según ADS y la Estrategia de Tablada tenemos que buscar oportunidades para mejorar los resultados financieros, aumentar la eficiencia, impulsar la flexibilidad y mantener el compromiso con los clientes para estar preparados para hacer frente a nuevos negocios para crecer. Para este objetivo es clave evaluar la madurez digital de todas las líneas de producción, detectar los espacios de mejora, los problemas y dar a conocer los planes de acción.

Para llevar esto a cabo es necesario establecer un modelo de madurez digital, que consiste en:

- Un proceso continuo y permanente de adaptación de la organización a un paisaje digital cambiante para poder competir eficazmente.
- Una evaluación del nivel digital de los usuarios/líneas y la solidez del hardware y las herramientas.

Este modelo es necesario para:

- Crear un marco de diagnóstico digital para fomentar una verdadera mentalidad digital y promover una organización digital.
- Continuar avanzando digitalmente, para lo que es esencial conocer el estado real de cada línea, y entonces así podremos establecer escenarios para profundizar en la transformación.

Y, para que este modelo funcione adecuadamente, este debe ser:

- Adaptable a diferentes realidades de fabricación.
- Escalable para progresar, de acuerdo con la transformación de la estrategia digital y estar preparado para invertir en su aplicación práctica.
- Independiente impulsado por datos para ser realista.

En definitiva, el modelo de madurez digital es un marco utilizado para comprender cuán madura es hoy en día una organización en el ámbito digital, y para ayudar a construir un *roadmap* al que se pueda hacer referencia cuando los cambios estén aún en curso en el futuro. Así, el desarrollo de este debería ser el primer paso hacia la madurez digital para poder ver claramente las lagunas en el entorno de la tecnología de la información y luego, establecer prioridades.

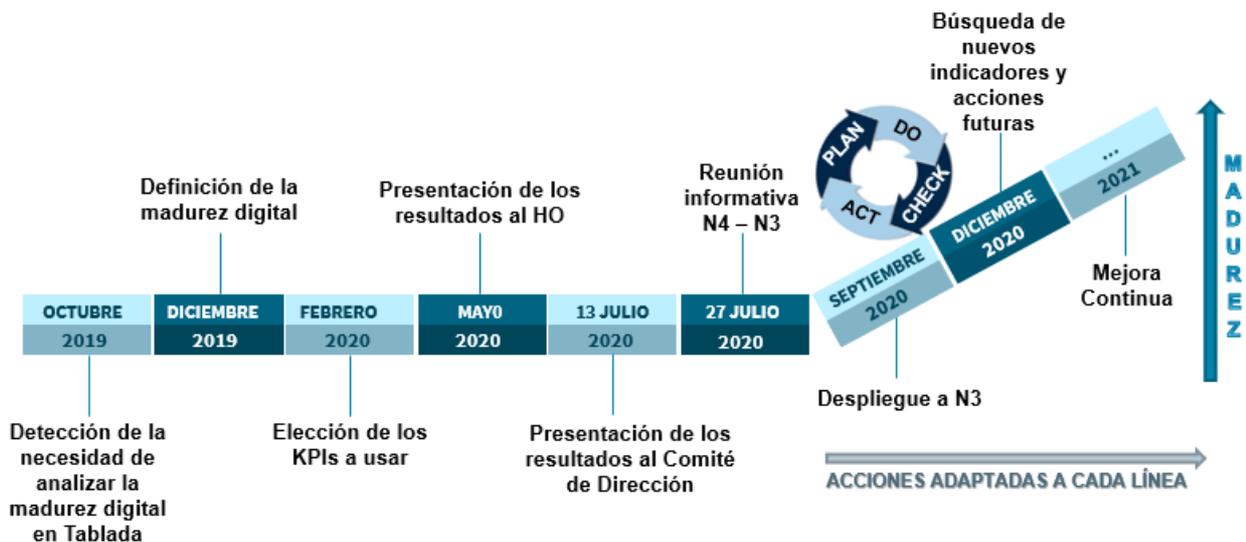


Figura 25: Roadmap Madurez Digital

Para maximizar la eficacia digital de una empresa, es necesario comprender su situación actual.

El modelo de madurez digital de Tablada incluye diferentes criterios y aspectos con los que la organización puede ser evaluada como cultura y actitud digital, infraestructura tecnológica y operaciones y procesos, entre otros como aplicación clave para analizar datos en Operaciones ADS. Todo ello gracias a varios indicadores mostrados a través de DeMat, como se verá a continuación; todos ellos calculados a fecha de 30/06/2020.

Se han analizado las 8 Iniciativas digitales, pero se expondrán únicamente los indicadores relacionados con DBC.

1. Usuarios registrados y población potencial

Este indicador muestra el número de usuarios registrados en DBC por la línea de producción, sin embargo, el

número que se muestra es mayor que el real ya que cuando un operario cambia de línea y se registra en una nueva, queda registrado en ambas.

Por ello, uno de los objetivos de este KPI es el de detectar lo anterior y eliminar a los usuarios que no usan más sus cuentas. Por otra parte, se pretende conseguir que el número de usuarios registrados en DBC sea igual al número de usuarios que tienen que trabajar con esta aplicación. Actualmente, esto se ha conseguido en un 90%:

A continuación, se pueden observar las cifras actuales:

Ariane 6	16.00
FSF A400M	21.00
Falcon 8X	24.00
HTP A400M	66.00
LTA	155.00
MRTT BOOM	3.00
PWP A400M	46.00
Pilones A400M	14.00
Rack de Aviónica UE	17.00
Totals	362.00

Figura 26.: KPI 1

2. Usuarios activos en DBC

Este gráfico muestra el número de usuarios activos por cada línea de producción, desde principio de año; considerando como usuario activo a aquel que accede e interactúa con la herramienta.

Con él se pretende:

- Determinar las líneas de producción en las que se utiliza más esta aplicación, para analizar las razones y aplicarlas en otras áreas.
- Observar si hay un crecimiento de estos, como se espera. A la vista del gráfico, se aprecia como la actividad permanece constante sin grandes variaciones, excepto en Abril; aunque este considerable descenso tiene sentido debido a los períodos de cierre que la fábrica sufrió durante dicho mes.

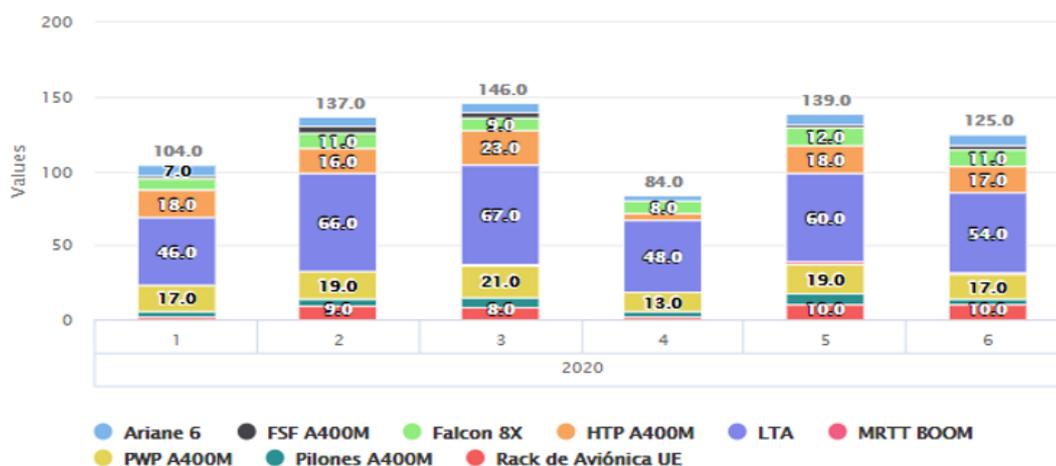


Figura 27: KPI 2

3. Eficiencia DBC

Como ya se ha definido, la eficiencia se obtiene a partir del cociente entre el tiempo concedido y el real para cada operación.

Así, la siguiente tabla muestra la eficiencia por cada línea de producción, con el objetivo de mejorar esta en aquellas líneas que se encuentran a 0. Asimismo, este indicador resulta de vital importancia para planificar los tiempos concedidos, ya que como se puede observar hay líneas con una eficiencia mayor que 1, debido a que estos tiempos son mucho mayores que los que realmente se necesitan y que la herramienta todavía no está totalmente consolidada en dicha área. La única área representativa es A400M.

	actual_start_date_y ←	2020						Totals
	actual_start_date_m ←	1	2	3	4	5	6	
sgm ↑								
Ariane 6		6.48	0.43	0.73	1.55	0.70	0.49	1.73
FSF A400M		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
Falcon 8X		0.29	20.51	0.02	4.49	0.23	9.19	5.79
HTP A400M		0.80	0.68	0.61	0.62	0.80	0.47	0.66
LTA		150.69	359.66	459.99	475.95	240.79	272.69	326.63
MRTT BOOM				0.00		0.00	0.00	0.00
PWP A400M		56.63	13.49	12.53	1.85	1.60	0.70	14.47
Pilones A400M		0.89	0.78	1.05	0.82	0.79	0.80	0.86
Rack de Aviónica UE		92.36	0.33	0.48	0.00	0.45	0.20	15.64
	Totals	38.52	49.49	52.82	69.33	27.26	31.62	43.89

Figura 28: KPI 3

5.7.1.1 Recomendaciones y buenas prácticas

A la vista de los resultados anteriores y con el propósito de optimizar el uso de la herramienta se proponen una serie de buenas prácticas:

- La ubicación de las pantallas deberá estar emplazada en la zona de reuniones de nivel (N1/N2), para facilitar el acceso a la herramienta durante las mismas.
- Usar la identificación mediante lectores RFID para facilitar el logado de los usuarios al sistema.
- Para el seguimiento semanal de la obra en curso a nivel N2/N3 se puede usar la vista por orden. Se recomienda hacer una reunión semanal de seguimiento por parte del MFT específica para ello.
- El tener una cultura de declarar el trabajo (o al menos el “cierre” en tiempo real facilita la implementación).

A continuación, se exponen una serie de mejoras identificadas y propuestas que añadirían valor a la herramienta en un futuro:

- Mejora en los tiempos de respuesta y de actualización de datos.
- Verificación de precedencias y certificados a la hora de iniciar tareas.
- Sugerencia de mejor camino alternativo cuando surgen problemas.
- Visión simplificada para acceso incluso desde smartphones.
- Aconsejar “mejor operario” de los disponibles para ejecutar un trabajo.

5.7.2 Matriz de madurez digital

			DIGITAL BARCHART	SIPLA	CMS	ANDON	DIGITAL SQCDP	ONE SINGLE FLOW	REMOTE SUPPORT	STE	MSTE	AREA MATURITY	
A400M	A400M	HTP	●	●	●	●	●	●	●			●	
		FLAPS SUPPORT FAIRINGS (FSF)	●	●	●	●	●	●	●	●			●
		PWP EQUIPPED PYLONS	●	●	●	●	●	●	●	●			●
		PWP DOORS & COWLINGS	●	●	●	●	●	●	●	●			●
LTA	C295	C295	●	●	●	●	●	●	●			●	
ELECTRICAL UNIT	ELECTRICAL UNIT (C295 / MRTT / A400M / EFE-2000 / A330 / A320 NEO)	AVIONIC RACK	●	●	●	●	●	●	●			●	
		CONTROL UNITS			●	●	●	●	●	●	●		●
		AVIONICS HARNESSSES				●	●	●	●	●	●	●	●
CIVIL & DERIVATES	MRTT	REFUELLING TAIL BOOM	●	●	●	●	●	●	●			●	
		PYLON	●	●	●	●	●	●	●	●			●
	FALCON 8X	HTP	●	●	●	●	●	●	●			●	
	A380	FAN COWL	●	●	●	●	●	●	●			●	
	BOEING	B-737 RUDDER	●	●	●	●	●	●	●	●			●
		B-777 FLAPERONS	●	●	●	●	●	●	●	●			●
ARIANE	ARIANE 6	ARIANE 6	●	●	●	●	●	●	●			●	
SYSTEM MATURITY			●	●	●	●	●	●	●	●	●		

Figura 29: KPI 2

En orden de rellenar la matriz anterior, se han tenido en cuenta tres criterios: la cultura, la organización y la tecnología relativas a cada herramienta, para cada área.

En cuanto a la cultura, se ha evaluado si la estrategia competitiva depende de lo digital o si todavía hay muchas trabas que lo impidan. Asimismo, se contempla si se cuenta con los líderes adecuados para ejecutar esta estrategia y si se invierte en educación y capacitación digital a todos los niveles. Por último, es necesario que exista una clara comunicación sobre la visión digital.

A nivel organizativo, hemos medido si se dedican los recursos adecuados a la estrategia digital, si el personal que apoya estas funciones digitales es el adecuado y, si estas herramientas fomentan la colaboración

Por último, en los aspectos tecnológicos se evalúa si el presupuesto invertido en la implementación de estas aplicaciones digitales es válido para permitir cambiar las prioridades y si está reportando los beneficios esperados. También se identifica si el enfoque es flexible, iterativo y colaborativo para el desarrollo tecnológico.

A partir de este último entregable realizado, se puntúan los distintos apartados para clasificar a la Factoría de Tabalada de Airbus en uno de los cuatro segmentos posibles en los que se puede encontrar una empresa a lo largo de su camino hacia la transformación digital: escépticos, adoptantes, colaboradores o diferenciadores.

Actualmente, Airbus se encuentra en tránsito entre el nivel 2 y el 3, muy común en empresas fabricantes. Se aprovechan las tecnologías facilitadoras clave para promover la velocidad y la flexibilidad y se utilizan herramientas digitales para promover la innovación y la colaboración. Sin embargo, es todavía tarea pendiente que esta cultura digital se implante en todos y cada uno de los trabajadores y áreas y, se tenga más en cuenta la experiencia del cliente y no solo la del trabajador, para dirigir el diseño y la fabricación.

6 CONCLUSIONES

Una conclusión es un argumento lógico proveniente de las premisas evaluadas. Así, si el argumento es válido, las premisas implican la conclusión. Es por ello, por lo que en este capítulo se procede a realizar una valoración de los resultados del proyecto con objeto de justificar la realización de este y poner de manifiesto el grado de efectividad alcanzado.

La premisa de la que parte este proyecto es la siguiente: “medir para mejorar”. Como ya hemos visto, es necesario para ello contar con un sistema de vigilancia del progreso de la producción. En nuestro caso, hemos usado Digital Barchart para identificar y cuantificar las desviaciones del proceso. La correcta implementación de dicha herramienta y el buen uso de esta, bases sobre las que se sustenta el proyecto, son completamente necesarias, ya que cuanto más tenso e información se posea del proceso, más desviaciones se podrán identificar.

Al igual que en el mundo personal, en la empresarial resulta de vital importancia saber gestionar de igual o mejor manera las pérdidas que las ganancias. Es por ello, por lo que gracias a la detección de todas las desviaciones e ineficiencias que incurren en tiempo perdido, siendo el tiempo el recurso más valioso, podemos reducir de manera muy eficaz todas las pérdidas financieras derivadas de estas. La gestión de las mismas tiene como objetivo gestionar y canalizar todas estas desviaciones según los estándares establecidos y luego, clasificar, priorizar y abordar su tratamiento y resolución. No es más que una forma de conectar las actividades de reducción de la variabilidad dentro del sistema Lean.

A su vez, si la empresa es capaz de prever e incluso anteponerse a estas desviaciones, el éxito será rotundo. Con este fin, cada vez son más las empresas que se sirven de esta clase de herramientas digitales y de muchas otras tecnologías que definen a la Industria 4.0 para la toma de decisiones estratégicas de la compañía. En el entorno en el que nos encontramos, esta transformación digital ya no es una opción, es una obligación. En anteriores capítulos se mencionó que el principal objetivo era promover el cambio a una cultura digital en la factoría de Tablada en Airbus y es así como debemos entender la transformación digital; no como un objetivo en sí misma, si no como un proceso de cambio.

Para ilustrar lo anterior, podemos servirnos del ejemplo de la madurez digital. Como se ha podido observar, Airbus no es todavía una empresa completamente madura, y al igual que ninguna otra podrá llegar a serlo en su totalidad; ya que es un proceso que exige estar siempre atento a las novedades tecnológicas, que crecen a un ritmo exponencial. Aun así, es imprescindible conocer en qué estado se encuentra la empresa actualmente y tender siempre al máximo que pueda alcanzar, teniendo en cuenta los recursos disponibles.

Para finalizar, frecuentemente se escucha que una conclusión es aquello a lo que se llega cuando alguien se ha cansado de pensar. Sin embargo, confío en que haya quedado constancia de la importancia de seguir pensando en este tema, ya que nos encontramos inmersos en una revolución de la que solo saldrán vencedores aquellos que aprendan a gestionar el cambio y se beneficien de él, sobre todo en sectores competitivos como es el aeroespacial al que atendemos.

7 BIBLIOGRAFÍA

- “Airbus - Home - Aerospace Pioneer.” <https://www.airbus.com/> (Julio 22, 2020).
- “Realidad Aumentada Industria Aeroespacial.” <https://www.arsoft-company.com/realidad-aumentada-en-la-industria-aeroespacial/> (Julio 21, 2020).
- “Aplicaciones Del Big Data En La Industria Aeroespacial.” <https://blogs.imf-formacion.com/blog/tecnologia/big-data-industria-aeroespacial-201803/> (Julio 20, 2020).
- “Cinco Áreas Clave de IoT En La Industria Aeronáutica – Canales TI.” <https://itcomunicacion.com.mx/cinco-areas-clave-de-iot-en-la-industria-aeronautica/> (Julio 20, 2020).
- “Tendencias 2019 En Tecnología Para La Industria Aeroespacial | SOMA.” <https://www.somasoftware.com/es/tendencias-2019-en-tecnologia-para-la-industria-aeroespacial/> (Julio 20, 2020).
- “La Digitalización Llega a La Industria Aeronáutica.” <https://ciudadesdelfuturo.es/la-digitalizacion-llega-a-la-industria-aeronautica-ventajas-y-aplicaciones.php> (Julio 17, 2020).
- “El Sector Aeronáutico Tras El Coronavirus - AERTEC Solutions.” <https://aertecsolutions.com/2020/04/16/el-sector-aeronautico-tras-el-coronavirus/> (Julio 14, 2020).
- “Informe Sobre La Industria Aeroespacial y Defensa.” <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/informe-anual-industria-aeroespacial-y-defensa.html> (Julio 14, 2020).
- “INFORME: ‘Industria Aeroespacial.’” <http://www.aero.upm.es/departamentos/economia/investiga/informe/I.HTM> (Julio 14, 2020).
- “COVID-19: Building Aerospace and Defense Resiliency | Accenture.” <https://www.accenture.com/us-en/insights/aerospace-defense/coronavirus-build-aerospace-and-defense-resilience> (Julio 14, 2020).
- “Industria Conectada 4.0 - ACTIVA Industria 4.0.” <https://www.industriaconectada40.gob.es/programas-apoyo/Paginas/activa.aspx> (Mayo 6, 2020).

Cifras PYME. Datos Enero 2020.

Sistema, Del. 2018. Datos y Cifras.

- “Los Ciberataques a Empresas de Interés Estratégico Españolas Crecen Un 25% | Tecnología | EL PAÍS.” https://elpais.com/tecnologia/2019/10/08/actualidad/1570546489_939104.html (Mayo 1, 2020).
- “Industria Conectada 4.0 - Página Principal.” <https://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/index.aspx> (Mayo 1, 2020).
- Programa Marco, El. 2020. “HORIZON 2020 En Breve - El Programa Marco de Investigación e Innovación de La UE.” <http://europa.eu> (Mayo 1, 2020).
- Dutta, Soumitra, and Bruno Lanvin. *The Network Readiness Index 2019: Towards a Future-Ready Society*. www.portulansinstitute.orgwww.networkreadinessindex.org (Mayo 1, 2020).
- “Sistema de Fabricación Flexible (FMS) Término Definición.” [https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Flexible-Manufacturing-System-\(FMS\).html](https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Flexible-Manufacturing-System-(FMS).html) (Abril 29, 2020).
- “Fábrica Inteligente | Revista Ingeniería.” <https://revistaingenieria.deusto.es/tag/fabrica-inteligente/> (Abril 29, 2020).
- “Industria 4.0 La Cuarta Revolución Industrial Inteligente.” <https://www.cic.es/industria-40-revolucion-industrial/> (Abril 28, 2020).
- “La Industria 4.0 - Conexión Industriales.” <https://conexionindustriales.com/la-industria-4-0/> (Abril 28, 2020).
- “Big Data: ¿En Qué Consiste? Su Importancia, Desafíos y Gobernabilidad.” <https://www.powerdata.es/big-data> (Abril 28, 2020).
- “La Industria 4.0 y Sus Orígenes - Aspromec.” <https://aspromec.org/la-industria-4-0-y-sus-origenes/> (Abril 28, 2020).
- “La Industria 4.0 y Lean Manufacturing.” <https://www.linkedin.com/pulse/el-papel-del-lean-manufacturing-en-la-industria-40-paredes-rodriguez> (Abril 27, 2020).