



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## **ANÁLISIS DEL ALCANCE DE LAS HERRAMIENTAS AGILE EN LA INDUSTRIA 4.0 (PARADIGMAS 7-12)**

Autor: Liher Abellás Rodríguez

Director: Mariano Jiménez Calzado

Co-Director: Alfredo Amor del Olmo

Madrid

Junio de 2024

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INDUSTRIA 4.0</b> .....	<b>4</b>
2.1	DEFINICIÓN PARADIGMAS 7-12.....	7
2.2	EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0.....	12
2.3	LA INDUSTRIA 4.0 EN LA ACTUALIDAD .....	38
2.4	EL FUTURO DE LA INDUSTRIA 4.0.....	43
<b>3</b>	<b>AGILE</b> .....	<b>55</b>
3.1	DEFINICIÓN DE AGILE.....	55
3.2	PRINCIPALES METODOLOGÍAS AGILE.....	60
3.3	COMPARATIVA DE ENFOQUES AGILE .....	75
<b>4</b>	<b>INTEGRACIÓN DE AGILE EN LA INDUSTRIA 4.0</b> .....	<b>77</b>
4.1	SOLUCIÓN A LA FALTA DE MODELOS TIPO .....	77
4.2	SOLUCIÓN A LA RESISTENCIA A LA INNOVACIÓN Y AL CAMBIO .....	91
4.3	SOLUCIÓN A LAS DUDAS SOBRE LOS BENEFICIOS DE LAS INVERSIONES .....	94
4.4	PROPUESTA FINAL: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE AGILE EN LA INDUSTRIA 4.0.....	97
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>108</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO</b> .....	<b>114</b>
6.1	CONCLUSIONES .....	114
6.2	TRABAJO FUTURO .....	115
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>117</b>
	<b>ANEXO: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)</b> .....	<b>125</b>

## **ABSTRACT**

Este trabajo de fin de máster se centra en el análisis de la implementación de metodologías Agile en el contexto de la Industria 4.0 en España. La Industria 4.0 representa una transformación significativa en los procesos industriales mediante la integración de tecnologías avanzadas como la robótica, la inteligencia artificial, la realidad aumentada y los gemelos digitales. Por otro lado, las metodologías Agile, originadas en el desarrollo de software, promueven la adaptabilidad, la colaboración y la entrega continua de valor. Este estudio explora cómo estas metodologías pueden optimizar la implementación de tecnologías de la Industria 4.0, superando barreras como la resistencia al cambio, la falta de modelos tipo y las dudas sobre los beneficios de las inversiones. A través de un análisis detallado, se identifican sinergias, desafíos y oportunidades, proporcionando una visión clara sobre el impacto de Agile en la modernización industrial. Además, se propone un plan detallado de implementación de Agile, estableciendo un vínculo entre Agile y los paradigmas tecnológicos clave de la Industria 4.0. Los resultados indican que la adopción de Agile puede mejorar significativamente la flexibilidad y la eficiencia de las empresas industriales, facilitando una transición más suave hacia la Industria 4.0.

**Palabras clave:** Industria 4.0, Agile, transformación digital, metodologías ágiles, tecnologías 4.0.

# 1 INTRODUCCIÓN

En la era de la Industria 4.0, el entorno industrial experimenta una transformación sin precedentes impulsada por la convergencia de tecnologías avanzadas. En este contexto, la metodología Agile ha surgido como un paradigma fundamental para la gestión de proyectos, permitiendo la adaptación ágil a cambios en los requisitos y proporcionando una respuesta eficiente a los desafíos dinámicos del entorno empresarial.

El presente Trabajo Fin de Máster se enfoca en el análisis detallado del alcance de las herramientas Agile en la Industria 4.0, centrándose específicamente en seis tecnologías que han sido disruptivas en los últimos años: Robots Autónomos, Realidad Virtual (VR) y Realidad Aumentada (AR), Gemelos Digitales (Digital Twins), Fabricación Aditiva, Automatización Robótica de Procesos (RPA) y Hiperautomatización, así como Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (Machine Learning).

El objetivo principal de este trabajo es examinar la evolución de la Industria 4.0 en España y comprender cómo la implementación de las metodologías Agile puede potenciar y optimizar la integración de estas tecnologías emergentes en los procesos industriales. La conexión entre la agilidad en la gestión de proyectos y el aprovechamiento efectivo de las innovaciones tecnológicas en la Industria 4.0 se presenta como un área crucial de investigación.

A través de un análisis exhaustivo, se buscará identificar sinergias, desafíos y oportunidades que puedan surgir al implementar herramientas Agile en entornos industriales que adoptan estas tecnologías avanzadas. La comprensión de estas interconexiones no solo contribuirá al conocimiento teórico, sino que también proporcionará valiosas perspectivas prácticas para profesionales y empresas que buscan mejorar su agilidad y capacidad de adaptación en un contexto industrial en constante evolución.

## 2 INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, representa una convergencia de tecnologías avanzadas que transforman los procesos de producción y los modelos de negocio en el sector industrial (Lasi et al., 2014). Para entender completamente esta revolución, es fundamental revisar brevemente las tres revoluciones industriales anteriores.

La Primera Revolución Industrial, que tuvo lugar en el siglo XVIII, se caracterizó por la mecanización de la producción mediante el uso de máquinas de vapor y energía hidráulica. Este cambio permitió una mayor producción y eficiencia, transformando sociedades agrarias en economías industriales (Groumos, 2021).

La Segunda Revolución Industrial, a finales del siglo XIX y principios del XX, trajo consigo la producción en masa y la estandarización de productos. Con la introducción de la electricidad y las líneas de ensamblaje, las fábricas pudieron aumentar significativamente su producción y reducir costos, marcando el comienzo de la era moderna de la manufactura (Groumos, 2021).

La Tercera Revolución Industrial, a mediados del siglo XX, se centró en la automatización y la digitalización de los procesos industriales. El uso de la electrónica, la informática y las tecnologías de la información permitió la automatización de muchas tareas, aumentando la precisión y reduciendo el esfuerzo humano en las fábricas (Groumos, 2021).

La Industria 4.0 se distingue por la integración de sistemas ciberfísicos, el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el análisis de grandes datos (Big Data) en los procesos de producción. Estas tecnologías permiten una mayor interconexión y comunicación entre máquinas, sistemas y productos, facilitando una producción más flexible y eficiente (Lasi et al., 2014). La interconexión se extiende a todos los aspectos de la cadena de valor, desde el suministro hasta la distribución, permitiendo una gestión más integrada y adaptativa.

El término Industria 4.0 fue acuñado en Alemania en 2011 como parte de una estrategia para mejorar la competitividad del país en el sector manufacturero (Rojko, 2017). Este enfoque no solo abarca la

modernización de las fábricas, sino también la creación de nuevos modelos de negocio y servicios que aprovechan las capacidades de estas tecnologías avanzadas.

En la actualidad, la Industria 4.0 se considera esencial para mantener la competitividad en el mercado global. Empresas de todos los tamaños están adoptando estas tecnologías para mejorar su eficiencia operativa, reducir costos y desarrollar productos innovadores. Además, la transformación digital impulsada por la Industria 4.0 está creando nuevas oportunidades para la personalización masiva y la producción bajo demanda, adaptándose mejor a las necesidades cambiantes de los consumidores.

En resumen, la Industria 4.0 marca un punto de inflexión en la historia de la producción industrial, integrando tecnología avanzada para crear sistemas de producción inteligentes y adaptativos. Esta revolución no solo mejora la eficiencia y la productividad, sino que también potencia la innovación y la personalización de productos y servicios a una escala sin precedentes.

La empresa NTT Data ofrece una buena visión global de la Industria 4.0, ilustrando sus principales componentes y beneficios:

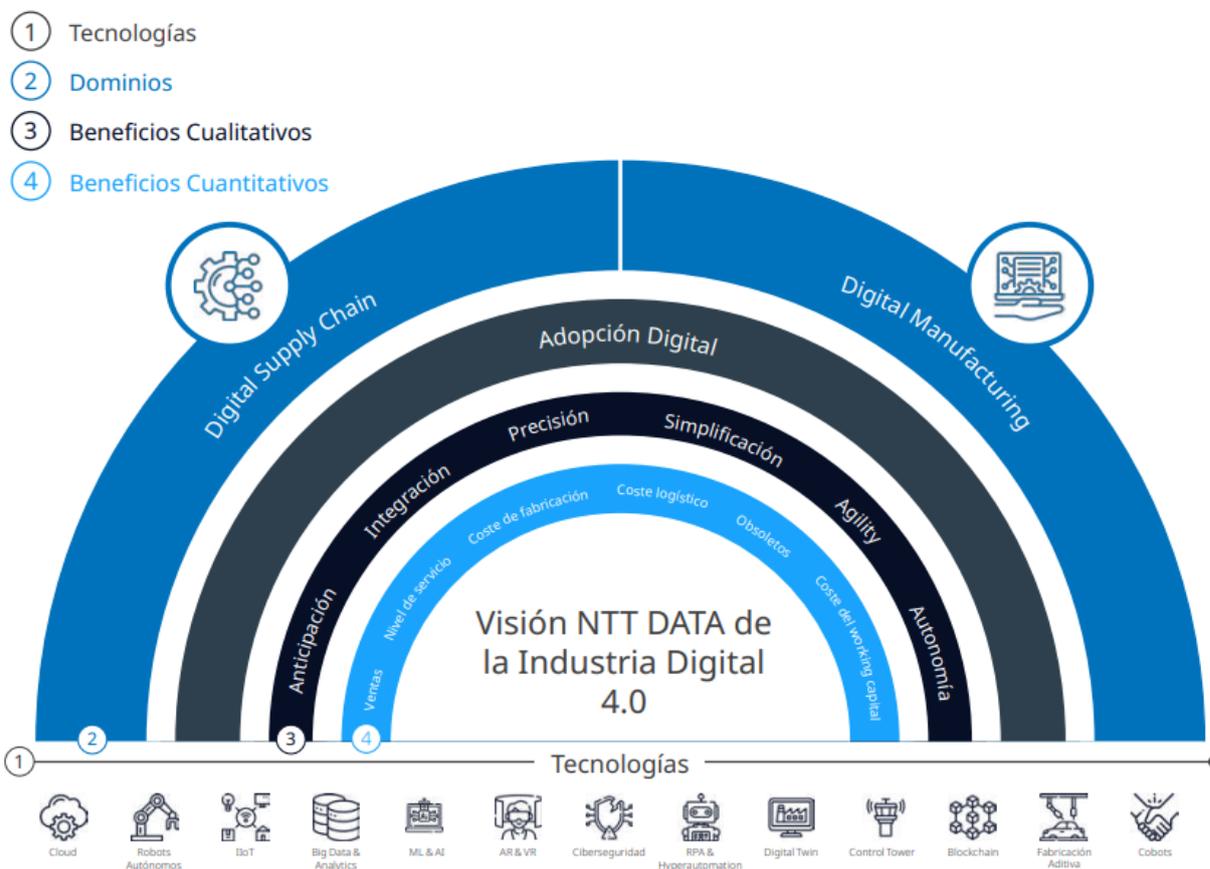


Figura 1. Visión global de la Industria 4.0 (Observatorio de la Industria 4.0, 2023)

En este contexto, es fundamental destacar que este trabajo de investigación se centrará específicamente en seis tecnologías clave de la Industria 4.0, identificadas como los paradigmas 7 a 12 según los informes de Smart Industry publicados por el Observatorio de la Industria 4.0 (2023), que son: Los Robots Autónomos, la Realidad Virtual y Aumentada, el Digital Twin, la Fabricación Aditiva, RPA e hiperautomatización, y la Inteligencia Artificial con aprendizaje automático. Estas tecnologías han demostrado tener un impacto significativo en la transformación de la industria moderna, abriendo nuevas posibilidades en términos de eficiencia, personalización y adaptabilidad.

De esta manera, en los siguientes apartados se busca proporcionar una comprensión completa y detallada de estas tecnologías que están dando forma al futuro de la industria y su potencial para impulsar la innovación y el crecimiento económico. Además, se pretende explorar en profundidad su evolución en España desde 2018, así como analizar su interacción con la metodología Agile. Su

análisis detallado permitirá comprender cómo la implementación de metodologías ágiles puede potenciar aún más su impacto y abordar las barreras identificadas en el contexto de la Industria 4.0.

## **2.1 Definición paradigmas 7-12**

### **2.1.1 ROBOTS AUTÓNOMOS**

Los robots autónomos representan una innovación significativa en el ámbito de la robótica industrial. Los robots autónomos son sistemas mecatrónicos capaces de realizar tareas sin intervención humana directa empleando sensores, actuadores y algoritmos avanzados de inteligencia artificial para navegar y operar en entornos dinámicos y variables. La capacidad de estos robots para realizar tareas de manera independiente mejora la eficiencia y reduce los errores en los procesos industriales (Goel & Gupta, 2020).

Según Grau et al. (2020), los robots autónomos en la manufactura incluyen robots móviles autónomos (AMR) y vehículos guiados automáticamente (AGV). Los AMR utilizan sistemas de navegación avanzada como la visión por computadora y el aprendizaje profundo para adaptarse a cambios en tiempo real en su entorno, lo que los diferencia de los AGV que siguen rutas predefinidas.

Además, los robots colaborativos, o cobots, representan una subcategoría dentro de los robots autónomos. Estos están diseñados para trabajar en estrecha colaboración con los humanos en entornos compartidos, mejorando la seguridad y la productividad. La integración de cobots en líneas de producción permite la combinación de la precisión y consistencia de los robots con la flexibilidad y adaptabilidad humana.

Una aplicación prominente de los robots autónomos es la automatización de almacenes. Amazon, por ejemplo, emplea robots autónomos para recoger y transportar productos dentro de sus centros de distribución, lo que ha permitido reducir significativamente los tiempos de procesamiento, el riesgo de accidentes laborales y aumentar la eficiencia operativa (Fragapane et al., 2021).

Adicionalmente, al liberar a los trabajadores de tareas repetitivas y físicamente exigentes, los robots autónomos pueden mejorar la calidad de vida laboral y permitir una mayor concentración en tareas de mayor valor añadido.

Este ejemplo de Amazon ilustra cómo los robots autónomos están revolucionando la logística y la gestión de almacenes, optimizando los flujos de trabajo y mejorando la productividad en la cadena de suministro. Esta aplicación concreta demuestra el potencial de los robots autónomos para transformar diversos sectores industriales, y destaca su relevancia en el contexto de la Industria 4.0 y la búsqueda de procesos de producción más eficientes y adaptables.

### **2.1.2 REALIDAD VIRTUAL (VR) Y REALIDAD AUMENTADA (AR)**

La Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR) representan tecnologías innovadoras que transforman la interacción entre el entorno físico y digital en la industria. La VR crea un entorno completamente digital en el que los usuarios pueden interactuar de manera inmersiva, mientras que la AR superpone elementos digitales en el mundo real, mejorando la percepción y la interacción del usuario con su entorno.

En el ámbito industrial, la VR se utiliza en el diseño y la simulación de productos. Por ejemplo, permite a los ingenieros y diseñadores crear prototipos virtuales y probar sus funcionalidades antes de la fabricación física, lo que reduce los costos y el tiempo de desarrollo (Ottogalli et al., 2021). En el ámbito de la formación, la VR proporciona un entorno seguro y controlado donde los trabajadores pueden aprender y practicar habilidades complejas sin riesgo de daño personal o a los equipos (Akpan & Offodile, 2024).

Por otro lado, la evidencia de uso de AR en la industria es escasa, pero se está empezando a emplear también en la formación de trabajadores, y en entornos de mantenimiento y reparación industrial para proporcionar a los técnicos información en tiempo real sobre el funcionamiento de las máquinas y los procedimientos de reparación, mejorando así la eficiencia y reduciendo los errores (Morales & del Cerro, 2024).

La VR y la AR representan herramientas poderosas que prometen transformar la forma en que se llevan a cabo las operaciones industriales, ofreciendo nuevas oportunidades para la formación, el

diseño y la asistencia en el lugar de trabajo. Estas tecnologías están desempeñando un papel fundamental en la evolución hacia entornos de trabajo más inteligentes y conectados en la Industria 4.0.

### **2.1.3 DIGITAL TWIN**

Los gemelos digitales, o “digital twins” en inglés, son réplicas virtuales precisas de objetos procesos o sistemas físicos. Estas representaciones digitales están conectadas en tiempo real a sus contrapartes físicas, lo que permite monitorear, simular y predecir el comportamiento y el rendimiento de los objetos en el mundo real (Jones et al., 2020). De esta forma, se puede proporcionar una visión completa y actualizada del estado y el rendimiento de un activo o proceso en tiempo real.

En el contexto industrial, esta tecnología permite a las empresas predecir el rendimiento futuro, identificar posibles fallos antes de que ocurran y optimizar las operaciones mediante simulaciones y análisis predictivos.

Un ejemplo relevante es el uso de gemelos digitales en la industria energética para mejorar la eficiencia de las turbinas eólicas. Al crear gemelos digitales de cada turbina, los ingenieros pueden monitorear en tiempo real su rendimiento y predecir posibles fallos antes de que ocurran, permitiendo así una programación más eficiente del mantenimiento y una reducción de los costes operativos (Javaid et al., 2023).

Los Gemelos Digitales ofrecen un potencial significativo para mejorar la eficiencia y la rentabilidad en la industria al permitir una mayor comprensión y control de los sistemas físicos. Al integrar datos en tiempo real con modelos de simulación avanzados, estas herramientas facilitan la toma de decisiones más informada y la optimización de los procesos industriales en la era de la Industria 4.0.

### **2.1.4 FABRICACIÓN ADITIVA**

La Fabricación Aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D, es una tecnología de producción que crea objetos tridimensionales a partir de modelos digitales mediante la adición de material capa por capa. A diferencia de los métodos de fabricación tradicionales, que implican la

sustracción de material a partir de un bloque sólido, la fabricación aditiva añade material de forma controlada, permitiendo la creación de geometrías complejas y personalizadas con una precisión superior (Gibson et al., 2021).

En la industria, la fabricación aditiva está revolucionando la forma en que se diseñan y producen componentes y productos en diversas industrias como la aeroespacial, médica y automotriz. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, la fabricación aditiva se utiliza para producir piezas ligeras y resistentes, optimizando así el rendimiento de las aeronaves y reduciendo el peso total, lo que resulta en un menor consumo de combustible y emisiones (Blakey-Milner et al., 2021).

Por otro lado, en el sector de la salud la fabricación aditiva se utiliza para producir dispositivos médicos, implantes y prótesis personalizados que se ajustan perfectamente a la anatomía y preferencias del paciente, mejorando significativamente los resultados clínicos (Sheoran et al., 2020)

Estos ejemplos ilustran cómo la fabricación aditiva está transformando la industria al ofrecer nuevas posibilidades de diseño, fabricación y rendimiento de productos. La capacidad de producir componentes complejos y personalizados de forma rápida y rentable está impulsando la innovación y la competitividad en diversos sectores industriales, desempeñando así un papel fundamental en la evolución hacia la Industria 4.0.

### **2.1.5 RPA E HIPERAUTOMATIZACIÓN**

La Automatización Robótica de Procesos (RPA) y la hiperautomatización son tecnologías que permiten la automatización de tareas repetitivas y basadas en reglas mediante el uso de software y algoritmos inteligentes. La RPA se centra en la automatización de procesos específicos mediante la creación de "robots" de software que imitan las acciones humanas en sistemas digitales. En cambio, la hiperautomatización es una extensión de RPA que integra múltiples tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la automatización de procesos digitales, para automatizar procesos de negocio de extremo a extremo (Zhao et al., 2022).

En la industria, la RPA y la hiperautomatización tienen aplicaciones en una amplia gama de áreas, desde la gestión de procesos administrativos hasta la optimización de la cadena de suministro. Según

Ribeiro et al. (2015), la RPA mejora significativamente la eficiencia operativa al reducir los errores humanos y acelerar la ejecución de tareas. Los bots de RPA pueden imitar las acciones humanas en aplicaciones digitales, como ingresar datos, realizar transacciones y responder a consultas, lo que libera a los empleados para que se enfoquen en actividades más estratégicas y de valor añadido.

La hiperautomatización, por su parte, está transformando la forma en que las empresas gestionan sus procesos empresariales, permitiendo una automatización más completa y adaptable a través de la integración de múltiples tecnologías. Un ejemplo destacado de hiperautomatización es su aplicación en la gestión de la cadena de suministro. Las empresas están empleando esta tecnología para optimizar sus inventarios, reducir costos y mejorar la satisfacción del cliente ().

### **2.1.6 INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) Y MACHINE LEARNING (ML)**

La Inteligencia Artificial (IA) y el aprendizaje automático (“Machine Learning” en inglés) son tecnologías que permiten a las máquinas aprender de los datos y realizar tareas cognitivas de manera autónoma, sin intervención humana directa.

La IA se refiere a la capacidad de las máquinas para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana y abarca una amplia gama de técnicas que permiten a los sistemas simular el comportamiento humano, como el reconocimiento de patrones, la toma de decisiones, el procesamiento del lenguaje natural y la visión por computadora. Por otro lado, el Machine Learning (ML) es una subdisciplina de la IA que se centra en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas mejorar aprender de los datos y mejorar su desempeño con el tiempo sin ser programadas explícitamente para cada tarea (Janiesch et al., 2021).

En la industria, la IA y el aprendizaje automático tienen aplicaciones en multitud de campos gracias a su capacidad de analizar grandes volúmenes de datos, identificar patrones y hacer predicciones. Por ejemplo, en el sector de la salud, los algoritmos de Machine Learning se utilizan para analizar grandes conjuntos de datos médicos y diagnosticar enfermedades con mayor precisión y rapidez que los métodos tradicionales (Habeih & Gohel, 2021). Además, en la industria manufacturera, la IA se emplea para predecir fallos en maquinaria y optimizar el mantenimiento preventivo, lo que ayuda

a anticiparse a fallos potenciales y, en consecuencia, a reducir los tiempos de inactividad y los costes de reparación (Jan et al., 2023).

Otro ejemplo de la aplicación de la IA y el aprendizaje automático es su uso en sistemas de traducción automática. Utilizando redes neuronales profundas, Google ha logrado mejorar drásticamente la precisión y fluidez de las traducciones, superando los enfoques estadísticos tradicionales (Wu et al., 2016). Este sistema de traducción neuronal ha sido capaz de aprender y adaptarse continuamente a partir de vastos conjuntos de datos multilingües, ofreciendo traducciones de alta calidad en tiempo real a millones de usuarios en todo el mundo.

En conclusión, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático son componentes esenciales en la transformación a la Industria 4.0 y también forman parte de muchas de las tecnologías 4.0, ofreciendo nuevas capacidades de análisis, predicción y automatización. Estas tecnologías están impulsando la innovación y la eficiencia en una amplia gama de sectores industriales, y desempeñan un papel fundamental en la evolución hacia la Industria 4.0.

Además, con la reciente irrupción de las inteligencias artificiales generativas, como el chatbot “ChatGPT” de la empresa OpenAI (Wu et al., 2023), se vislumbra un potencial aún mayor en la capacidad de las máquinas para generar contenido de forma creativa e interactiva, lo que promete nuevas oportunidades y desafíos en el panorama empresarial y tecnológico.

## **2.2 Evolución de la Industria 4.0**

Una vez establecida una base sólida al definir las seis tecnologías clave en el marco de la Industria 4.0, resulta fundamental comprender cómo han evolucionado estas tecnologías en los últimos años y cuál ha sido su impacto en el panorama industrial.

Al explorar los informes de Smart Industry del Observatorio de la Industria 4.0 desde 2018 hasta 2023, se obtendrá una visión detallada de cómo estas tecnologías han avanzado y se han integrado en diversos sectores industriales. Este análisis permitirá identificar las tendencias emergentes, los desafíos y las oportunidades que han surgido en el camino hacia la Industria 4.0.

---

Estos informes se centran en analizar las tendencias, desafíos y oportunidades relacionadas con la adopción de tecnologías de la industria 4.0 en diferentes sectores industriales. De esta manera, ofrecen una visión integral de cómo la industria 4.0 está transformando el panorama industrial y proporcionan recomendaciones para que las empresas puedan adaptarse y aprovechar las oportunidades que ofrece esta revolución tecnológica.

De acuerdo con estos informes, actualmente existen principalmente 12 tecnologías (o paradigmas) clave en la Industria 4.0 que son: Cloud, IoT, Big data & Analytics, Ciberseguridad, Control Tower, Blockchain, Robots autónomos, IA & ML, AR & VR, RPA & Hyperautomation, Digital Twin, y Fabricación aditiva. Este trabajo solo se centrará en las seis últimas, que a partir de ahora se denominarán paradigmas 7, 8, 9, 10, 11 y 12 respectivamente.

Al conectar esta investigación con la comprensión previa de las tecnologías individuales, se podrá evaluar de manera más precisa cómo la implementación de metodologías ágiles puede aprovechar estas tendencias y optimizar los procesos industriales en constante cambio. De esta manera, se dará pie a explorar cómo las metodologías ágiles pueden adaptarse y contribuir al avance continuo de la Industria 4.0, aprovechando las lecciones aprendidas y las oportunidades identificadas durante este análisis de evolución tecnológica.

### **2.2.1 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL AÑO 2018**

En el año 2018, la Industria 4.0 se encontraba en una fase crucial de desarrollo, con un creciente interés por parte de las empresas en adoptar nuevas tecnologías digitales para mejorar la eficiencia y la competitividad en el mercado. Este periodo se caracterizó por una exploración activa por desarrollar planes de negocio para la implantación de nuevas tecnologías como por ejemplo la IA, los robots autónomos, la simulación, la fabricación aditiva, nuevas interfaces humanas y RPA. De hecho, según el Observatorio de la Industria 4.0 (2018), menos de la mitad de las empresas encuestadas en este informe consideraban que en ese momento tuviesen medios suficientes para llevar a cabo la transformación digital a la Industria 4.0 pese a que la inmensa mayoría reconocía el gran potencial de la digitalización, especialmente para las empresas industriales.

La presencia de estas tecnologías en las empresas variaba según el sector industrial y la madurez digital de cada organización. En general, de los paradigmas en los cuales se centra este trabajo, los más presentes eran los robots autónomos, la simulación (en la cual se puede incluir Digital Twin) y la fabricación aditiva. En el caso de las nuevas interfaces humanas como la VR y AR o el RPA, todavía en ese momento no estaban implantadas en las empresas debido a que eran tecnologías muy recientes en ese año.

### ¿Cuáles son los paradigmas más punteros actualmente en las empresas ?

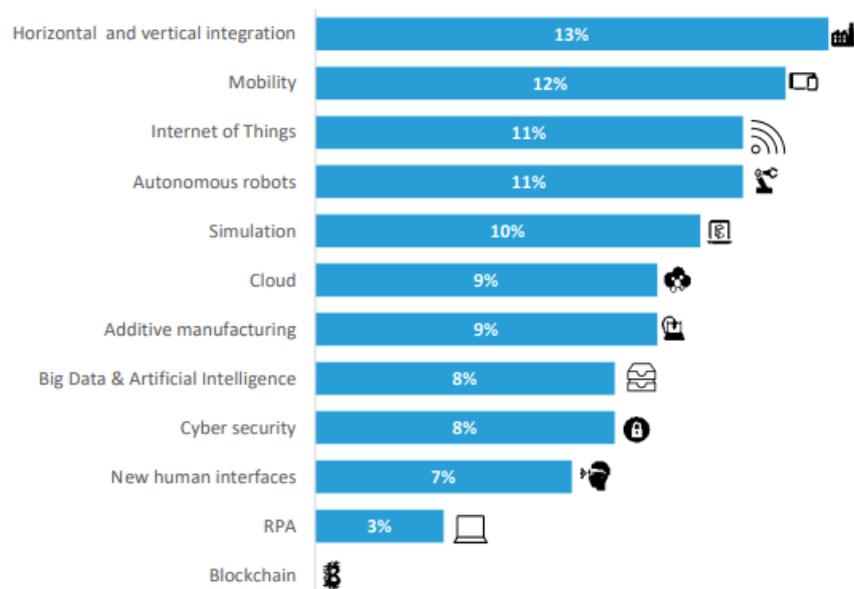


Figura 2. Presencia de paradigmas en 2018 (Observatorio de la Industria 4.0, 2018)

La inversión planeada por parte de las empresas en estas tecnologías para los próximos años fue considerable, reflejando la creciente conciencia sobre el potencial transformador de la Industria 4.0. Grandes corporaciones destinaron importantes recursos financieros a proyectos de investigación y desarrollo en áreas como la Inteligencia Artificial, los robots autónomos y la simulación, siendo la IA el paradigma en el que más planeaban las empresas invertir en ese año. De aquí se extrae una de las principales conclusiones del informe, en 2018 las compañías empezaron a ser conscientes del potencial de la IA para mejorar la calidad de los servicios prestados al cliente y reducir costes directos, entre otros.

¿En qué paradigmas va a invertir más la empresa en los próximos años?

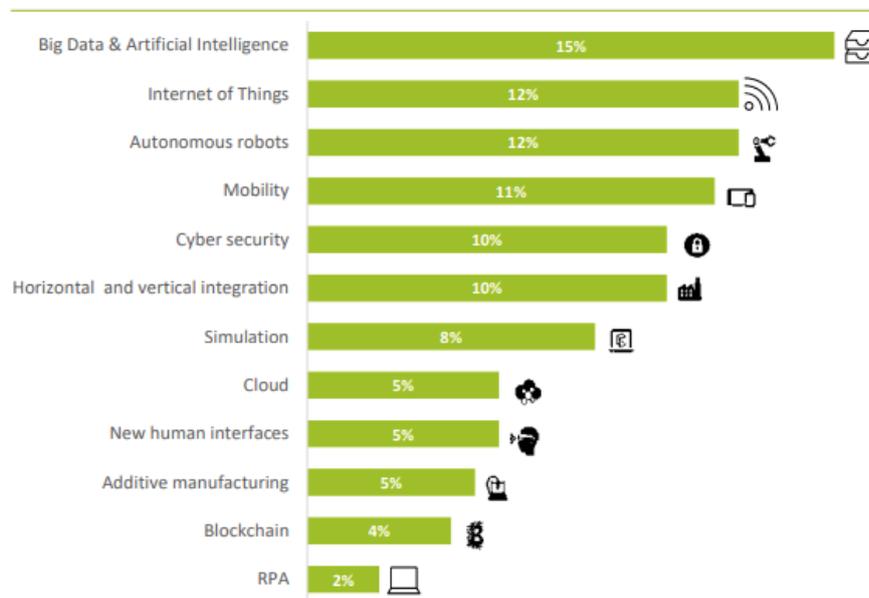


Figura 3. Inversión en paradigmas en 2018 (Observatorio de la Industria 4.0, 2018)

Sin embargo, a pesar del creciente interés y la inversión en tecnologías de la Industria 4.0, persistieron importantes barreras en el proceso de transformación digital de las empresas. Entre las barreras más significativas se encontraban la resistencia a la innovación y el cambio, la falta de formación de los trabajadores, la falta de modelos tipo sobre los que trabajar, e inversiones muy altas. Curiosamente, estas barreras no tienen que ver con la tecnología o aspectos puramente técnicos sino con aspectos más bien culturales, siendo la resistencia al cambio la más predominante de todas ellas.

### ¿Cuáles son las barreras principales en la transformación digital?



Figura 4. Barreras de la Industria 4.0 en 2018 (Observatorio de la Industria 4.0, 2018)

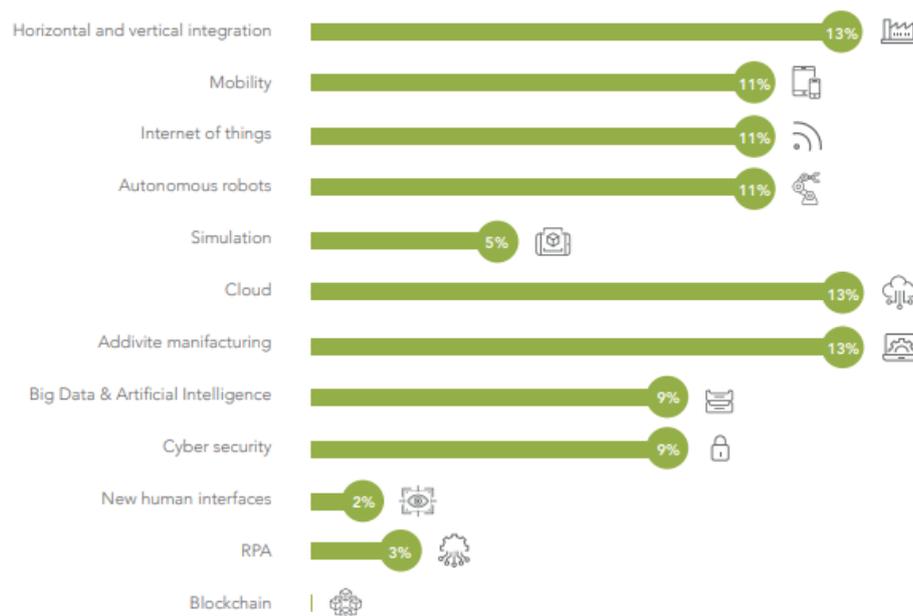
El año 2018 marcó un hito en comienzo de la evolución de la Industria 4.0, con un aumento significativo en la adopción de tecnologías clave y una mayor conciencia sobre los desafíos y barreras asociadas con la transformación digital en el sector industrial. A medida que las empresas avanzaban en su camino hacia la Industria 4.0, se enfrentaban a la necesidad de superar obstáculos importantes para aprovechar todo el potencial de estas innovaciones tecnológicas. La inversión y la exploración activa de nuevas soluciones digitales sentaron las bases para futuros avances en la implementación de la Industria 4.0 y la búsqueda continua de la excelencia operativa en el entorno industrial moderno.

### 2.2.2 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL AÑO 2019

El año 2019 estuvo marcado por avances significativos en la adopción de tecnologías emergentes, así como por la creciente conciencia sobre los beneficios y desafíos asociados con la implementación de estos paradigmas en las empresas. El Informe Smart Industry del Observatorio de la Industria 4.0 proporciona una visión detallada de esta evolución, destacando las tendencias clave y las áreas de enfoque para las organizaciones durante este período.

Durante el año 2018, la Industria 4.0 había ganado terreno en el sector industrial español, con un creciente interés y adopción de tecnologías digitales. Sin embargo, en 2019, esta tendencia alcanzó nuevas alturas, con una mayor conciencia y compromiso por parte de las empresas en la transformación digital. Según el Observatorio de la Industria 4.0 (2019), un 78% de las compañías ya tenían planes de transformación digital a implementar en los próximos años, por lo que la mayoría de las empresas ya estaban empezando a presupuestar inversiones en Industria 4.0.

Uno de los aspectos más destacados del informe fue la identificación de los paradigmas tecnológicos más presentes en las empresas durante este período. Este año la tecnología más adoptada era la fabricación aditiva, suponiendo un aumento considerable desde el año anterior, seguida de los robots autónomos y la Inteligencia Artificial. Estas tecnologías se convirtieron en pilares fundamentales para impulsar la eficiencia operativa, mejorar la calidad del producto y ofrecer experiencias de usuario personalizadas. En cambio, las nuevas interfaces humanas y la simulación sufrieron reducciones importantes respecto a 2018, posiblemente por invertir en moda más que en tecnología.



*Figura 5. Presencia de paradigmas en 2019 (Observatorio de la Industria 4.0, 2019)*

En cuanto a las inversiones planificadas para los próximos años, se registró un incremento notable en la asignación de recursos hacia la fabricación aditiva, así como la IA, que continuó siendo el

paradigma líder en inversión por segundo año consecutivo. Por otro lado, los robots autónomos, la simulación y las nuevas interfaces humanas perdieron interés para las empresas. Estas tendencias reflejaron una mayor confianza en la capacidad de estas tecnologías para generar retornos significativos y optimizar la cadena de valor.



Figura 6. Inversión en paradigmas en 2019 (Observatorio de la Industria 4.0, 2019)

Sin embargo, a pesar del crecimiento y la expansión de la Industria 4.0, persistieron desafíos significativos en forma de barreras para la transformación digital. Entre las principales barreras identificadas se encontraban las mismas que las del año pasado: la resistencia a la innovación y al cambio (siendo la barrera más predominante reconocida por una cuarta parte de las empresas), la falta de formación de los trabajadores, falta de modelos tipo sobre los que trabajar e inversiones muy altas. Estos obstáculos subrayaron la necesidad de un enfoque integral que aborde tanto los aspectos tecnológicos como organizativos de la transformación digital.



Figura 7. Barreras de la Industria 4.0 en 2019 (Observatorio de la Industria 4.0, 2019)

En conclusión, el año 2019 fue testigo de avances significativos en la evolución de la Industria 4.0 en España. La adopción de tecnologías emergentes alcanzó nuevas alturas, con un enfoque renovado en la IA, la automatización y la realidad extendida. Aunque persistieron desafíos importantes, el impulso hacia la transformación digital se fortaleció, sentando las bases para un futuro industrial más innovador y competitivo.

### 2.2.3 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL AÑO 2020

La Industria 4.0 continuó su evolución en el año 2020, marcando otro capítulo significativo en la transformación digital del sector industrial español. De acuerdo con el informe Smart Industry de 2020 (Observatorio de la Industria, 2020), en este año se observó un aumento exponencial de la digitalización en el sector industrial y una mayor concienciación de las empresas por llevar a cabo la transformación digital, incentivada en gran parte por la situación extraordinaria que se vivió ese año con la pandemia del COVID-19.

La crisis del COVID-19 provocó una reducción del personal en las empresas, la necesidad de trabajar desde casa, implantación de medidas de seguridad para asegurar el distanciamiento, picos y caídas repentinas de la demanda, y una mayor necesidad de generar eficiencias y reducir los costes. Todo esto forzó a las empresas a adaptarse a las nuevas circunstancias y reevaluar la ingeniería de

sus procesos, llevándolas a crear planes de adopción de los paradigmas 4.0 para mantener la eficacia de su productividad.

Uno de los aspectos más notables del informe de 2020 fue la consolidación de la necesidad de apostar e invertir en tecnologías 4.0. Los robots autónomos, la fabricación aditiva y la IA continuaron siendo paradigmas muy punteros en las empresas, con un notable aumento del paradigma de simulación, situándose como uno de los más punteros también. No obstante, las nuevas interfaces humanas desaparecieron del panorama empresarial y el RPA continuó siendo una de las tecnologías menos presentes en las empresas.

## ¿Cuáles son los paradigmas más punteros actualmente en las empresas?

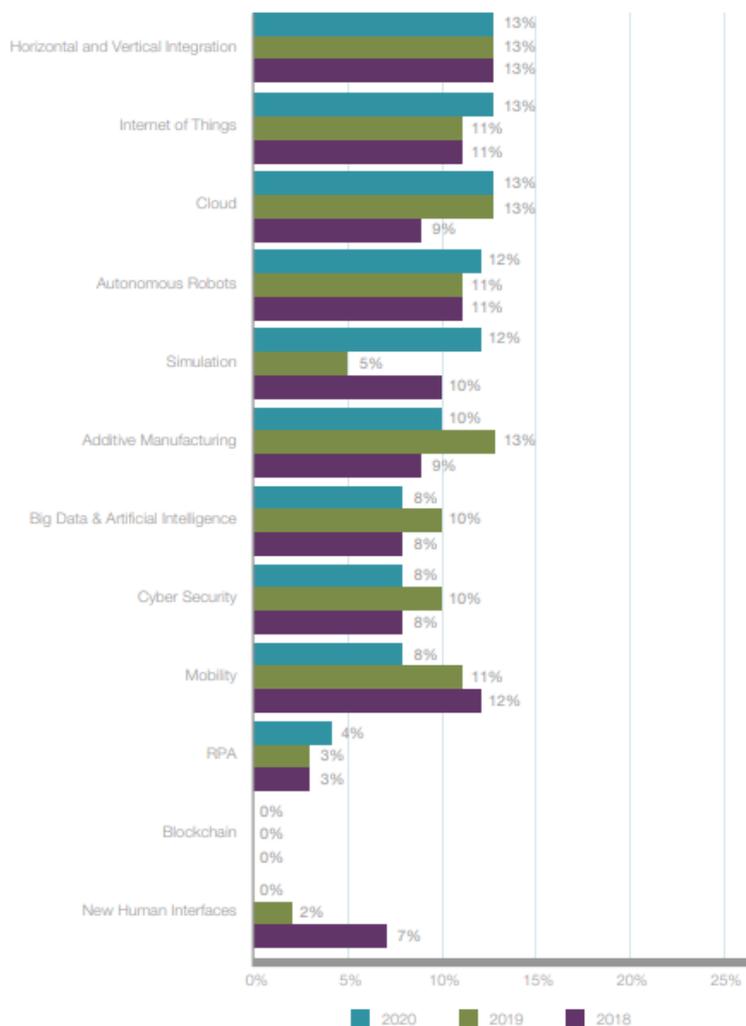


Figura 8. Presencia de paradigmas en 2020 (Observatorio de la Industria 4.0, 2020)

En términos de inversiones planificadas, se observó una continuación de la tendencia hacia la asignación de recursos en tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0. La Inteligencia Artificial ganó aún más terreno con empresas buscando formas de mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos, convirtiéndose en el paradigma en el que más invertirían las empresas durante los próximos años. Por otro lado, se observa una notable disminución en el interés de invertir en robots autónomos pese a ser uno de los paradigmas más presentes en las empresas.

Esto puede atribuirse a varios factores clave. La crisis sanitaria de COVID-19 generó una reevaluación de las prioridades de inversión, con un enfoque en la adaptación rápida a nuevas condiciones y la incertidumbre económica, lo que llevó a una cautela generalizada en la asignación de recursos priorizando proyectos con retornos más inmediatos y previsibles. Además, el avance de la madurez tecnológica pudo haber llevado a algunas empresas a considerar que ya han alcanzado un nivel adecuado de automatización, mientras que las necesidades específicas del sector podrían haber dirigido el interés hacia otras áreas de innovación.

## ¿En qué paradigmas van a invertir más las empresas en los próximos años?

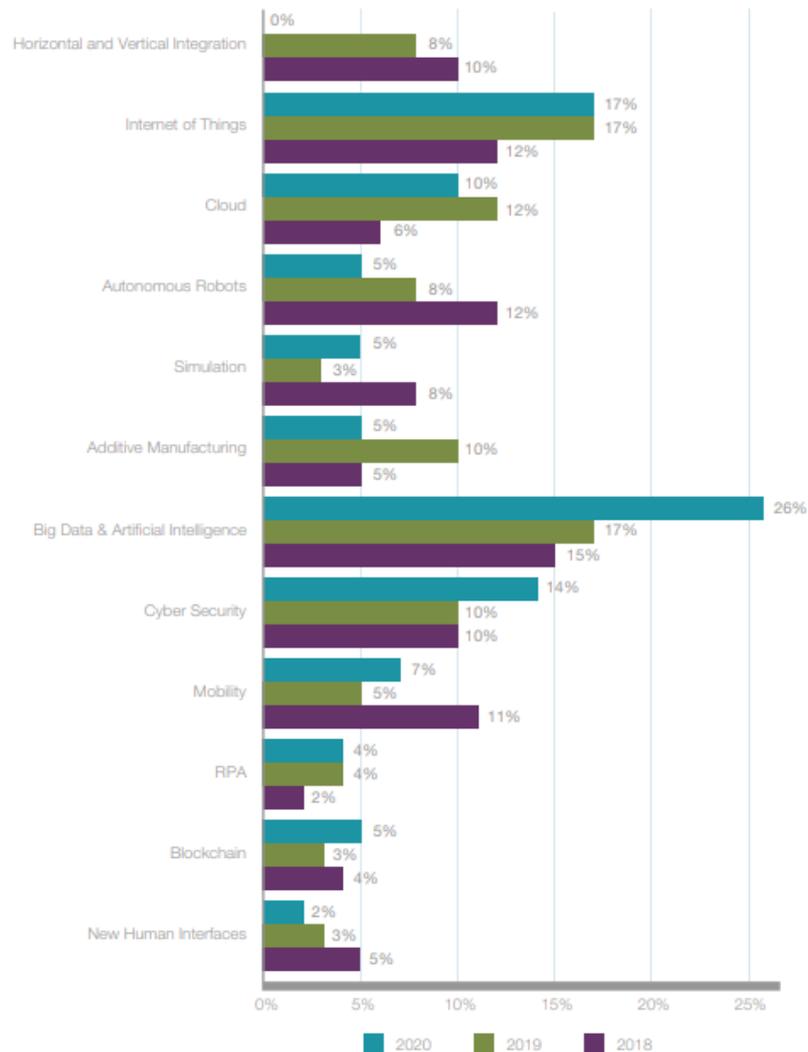


Figura 9. Inversión en paradigmas en 2020 (Observatorio de la Industria 4.0, 2020)

A pesar del progreso significativo, persistieron desafíos importantes en el camino hacia la transformación digital. La principal barrera para la transformación digital seguía siendo la resistencia a la innovación y al cambio, seguida de cerca por las cantidades muy altas de inversión y la incertidumbre sobre sus beneficios. Sin embargo, disminuyeron a su vez, las limitaciones tecnológicas por la infraestructura de las empresas, la falta de competencias de los empleados en

tecnologías fundamentales de la Industria 4.0 y la no involucración de los avances tecnológicos en los objetivos estratégicos de las empresas.

## ¿Cuáles son las barreras principales en la Transformación Digital?

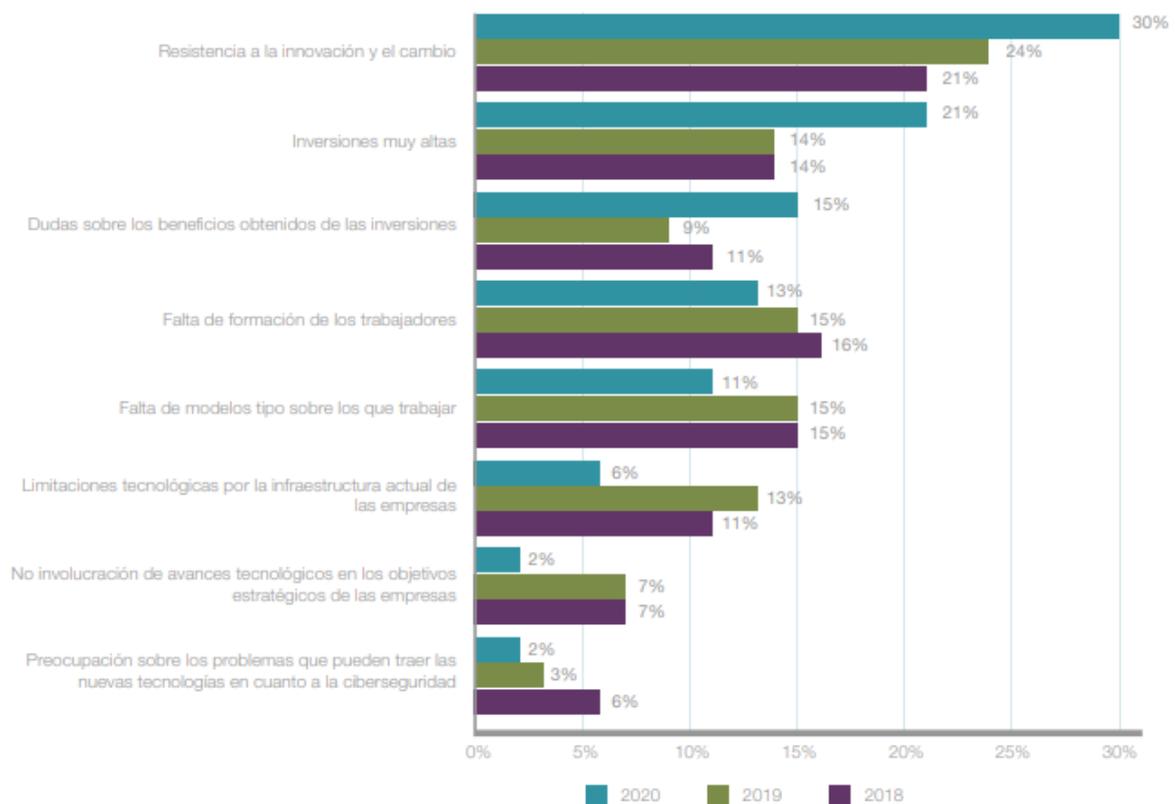


Figura 10. Barreras de la Industria 4.0 en 2020 (Observatorio de la Industria 4.0, 2020)

En resumen, el año 2020 representó otro hito en la evolución de la Industria 4.0 en España, muy marcado por las consecuencias de la pandemia del COVID-19. La consolidación de tecnologías clave y la continua inversión en innovación digital destacaron el compromiso continuo del sector industrial con la transformación digital. De hecho, un 70% de las empresas ya contaba con un plan de transformación digital y comenzaron a obtener resultados (Observatorio de la Industria 4.0, 2020).

Además, las compañías empezaron a darse cuenta de que su facturación anual estaba alineada a la inversión en innovación tecnológica. Y aunque persistieron varios desafíos, la pandemia actuó como un catalizador para acelerar la adopción de soluciones digitales y reafirmar la importancia estratégica de la Industria 4.0 en un mundo cada vez más interconectado y tecnológico.

#### **2.2.4 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL AÑO 2021**

Las organizaciones de una amplia variedad de industrias se enfrentaron a desafíos significativos como consecuencia de la COVID-19, incluida la reducción del personal, la transición al trabajo remoto, la adaptación a cambios en la demanda del mercado y la necesidad de mejorar la eficiencia operativa. En este contexto, la transformación digital se convirtió en una herramienta indispensable para abordar estos desafíos y mantener la competitividad (Observatorio de la Industria 4.0). La Automatización, en particular, emergió como una respuesta crucial, permitiendo a las empresas reevaluar y optimizar sus procesos operativos para generar eficiencias clave y mantenerse ágiles frente a las condiciones cambiantes del mercado.

Algunos paradigmas tecnológicos, como la Inteligencia Artificial (IA) y la Automatización de Procesos, se volvieron esenciales para garantizar la eficacia y la productividad en medio de las circunstancias extraordinarias generadas por la pandemia. La introducción de estas tecnologías no solo impulsó el crecimiento exponencial de la industria, sino que también ayudó a las empresas a adaptarse rápidamente a nuevas demandas y desafíos.

La adopción de tecnologías específicas, como Robotic Process Automation (RPA) y Robots Autónomos, se aceleró durante la pandemia para abordar necesidades urgentes, como la optimización de procesos de trabajo remoto, la flexibilización de la cadena de suministro y la producción de equipos médicos y materiales de protección. Además, el uso de técnicas avanzadas como el Deep Learning permitió acelerar la investigación y desarrollar soluciones innovadoras para combatir la propagación del virus.

## ¿Cuáles son los paradigmas más punteros actualmente en las empresas?

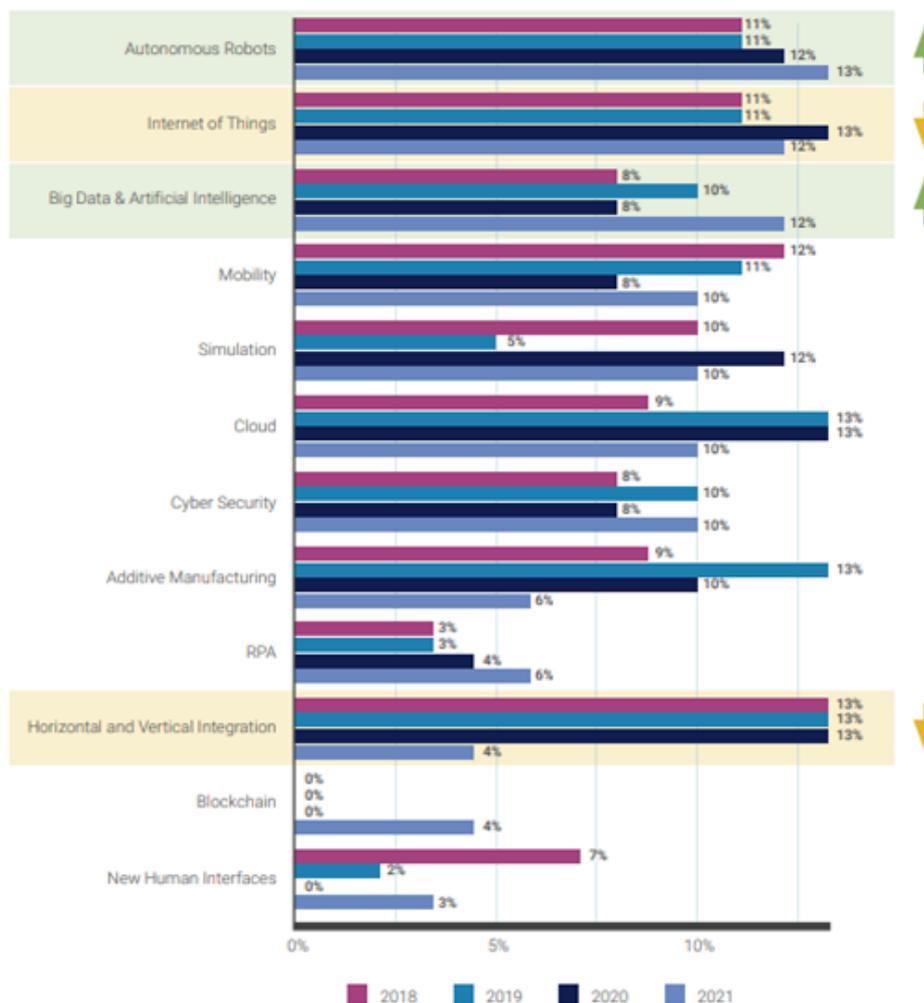


Figura 11. Presencia de paradigmas en 2021 (Observatorio de la Industria 4.0, 2021)

En términos de inversiones planificadas, se observó un aumento en la asignación de recursos hacia los Robots Autónomos, el RPA y las nuevas interfaces humanas como VR y AR. Sin embargo, se observó una reducción en la inversión planificada para los próximos años en Inteligencia Artificial, pese a ser una tecnología reconocida como esencial por la mayoría de las empresas, y la Simulación descendió a los últimos puestos como paradigma de inversión.

## ¿En qué paradigmas va a invertir más la empresa en los próximos años?

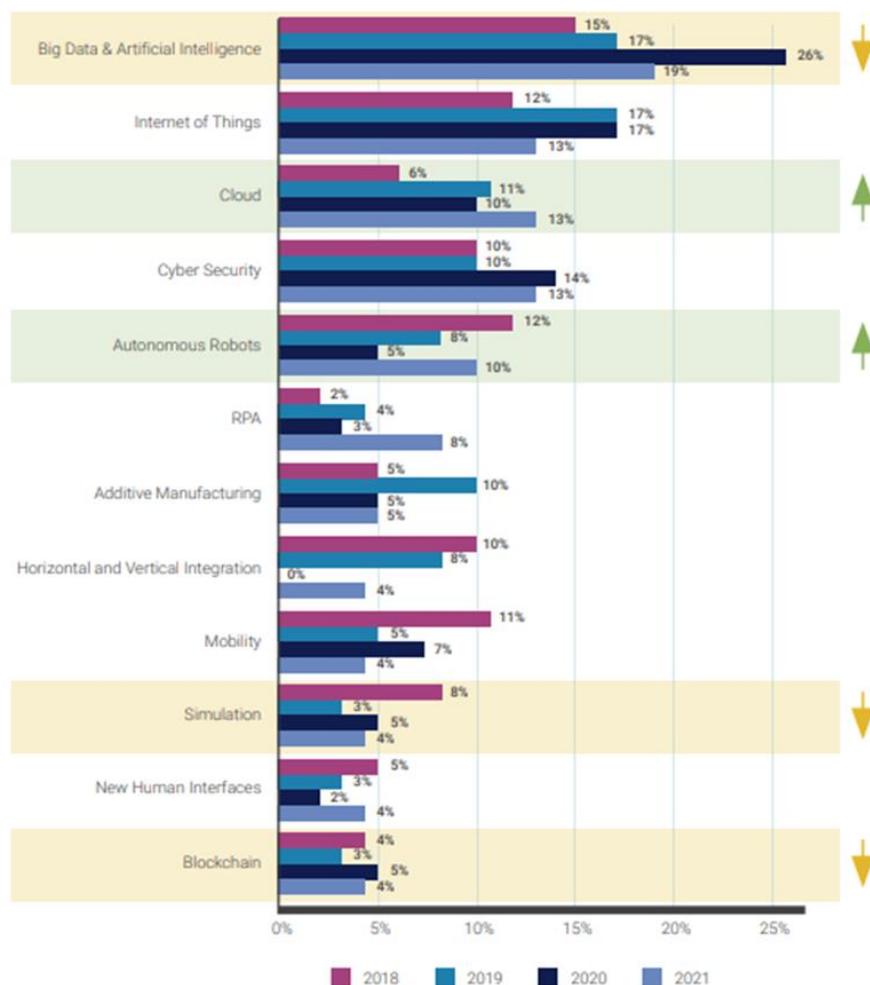


Figura 12. Inversión en paradigmas en 2021 (Observatorio de la Industria 4.0, 2021)

Por último, persistieron desafíos importantes en el camino hacia la plena adopción de la Industria 4.0. Aunque disminuyó 10 puntos, la principal barrera para la transformación digital continuó siendo la resistencia a la innovación y al cambio, seguida de cerca por la falta de formación de los trabajadores, reportada por hasta un 18% de las empresas encuestadas en el informe en 2021.

Cabe destacar que perdió bastante importancia la creencia como barrera de que sean necesarias inversiones muy altas, así como modelos tipo sobre los que trabajar. También llama la atención el preocupante aumento de la barrera relacionada con la no involucración de avances tecnológicos en los objetivos estratégicos de las empresas, dado que el año anterior parecía que había desaparecido por completo gracias a que las compañías empezaron a darse cuenta de que su facturación anual estaba alineada a la inversión en innovación tecnológica.

### ¿Cuáles son las barreras principales en la transformación digital?

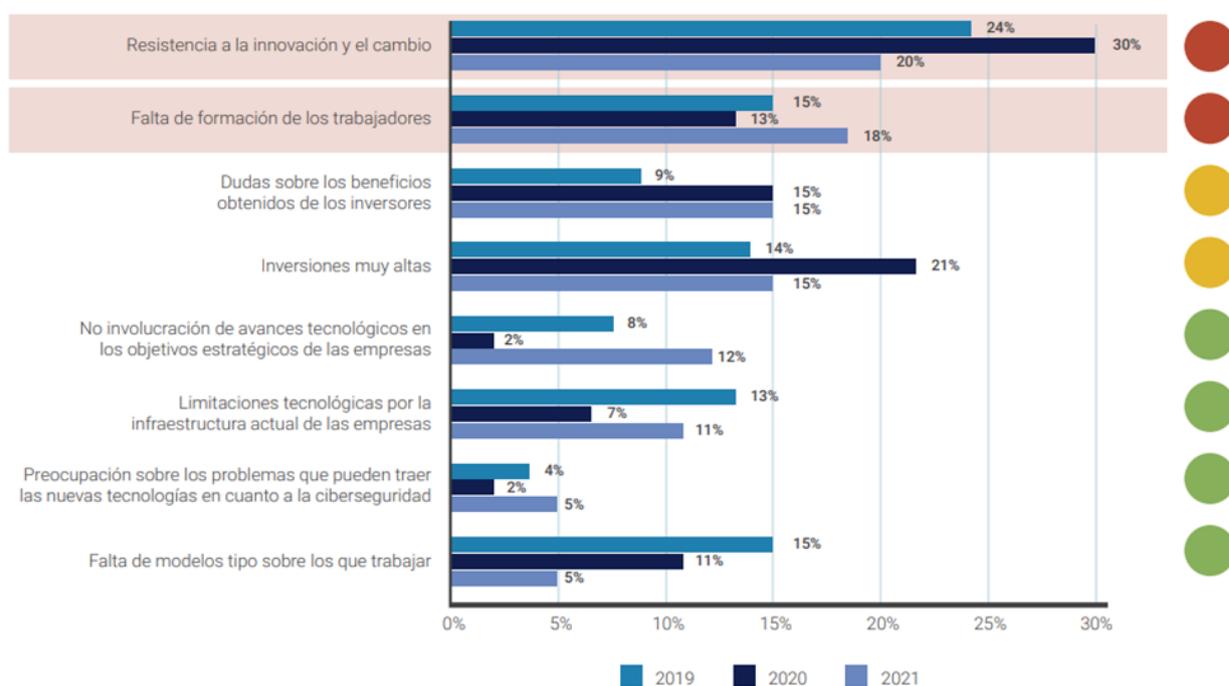


Figura 13. Barreras de la Industria 4.0 en 2021 (Observatorio de la Industria 4.0, 2021)

En conclusión, el año 2021 representó otro hito en la evolución de la Industria 4.0 en España, destacando el papel crucial de la transformación digital en la capacidad de las empresas para adaptarse y prosperar en un entorno empresarial cada vez más complejo y cambiante.

Asimismo, un 80% de las empresas reportaron que la pandemia contribuyó a acelerar la transformación digital en el área de IT y más del 75% aseguraron que mantendrían el teletrabajo en

áreas clave como IT, Ventas, Administración y Contabilidad (Observatorio de la Industria, 2021), lo que refleja una adaptación significativa a las nuevas formas de trabajo impulsadas por la crisis sanitaria. Sin embargo, persistieron desafíos importantes, como la resistencia al cambio y la falta de formación de los trabajadores, que siguen siendo los mayores frenos para la transformación digital.

### **2.2.5 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL AÑO 2022**

El informe Smart Industry de 2022 vuelve a reafirmar el crecimiento de la digitalización en el sector industrial desde su primera edición, aunque se aprecia una creciente preocupación en cómo los empleados están capacitados para acometer las diferentes tecnologías necesarias para esta transformación digital.

Este año estuvo muy marcado por la inestabilidad económica presente durante los últimos años que favoreció como principales preocupaciones de la industria el acceso a las materias primas, un aumento del coste del transporte y la crisis energética vivida, que provocó que los costes de fabricación se dispararan de forma exponencial (Observatorio de la Industria, 2022). Todo lo anterior hizo que se tuviera un enfoque conservador en cuanto a las expectativas de la evolución económica.

En 2022, las empresas redujeron el desarrollo de alguna de las tecnologías que había sido más importante durante años anteriores como la Inteligencia Artificial y el Machine Learning, los Robots Autónomos y la Fabricación Aditiva. Por otro lado, algunas tecnologías de carácter más novedoso empezaron a captar la atención de las empresas como la Realidad Virtual/Aumentada y Digital Twin. A partir de ahora se asumirá que estos dos paradigmas aparecen en favor de los paradigmas de Nuevas Interfaces Humanas y Simulación respectivamente, ya que estos últimos desaparecen de los informes Smart Industry de a partir de este año.

## ¿Cuáles son las tecnologías más presentes actualmente en las empresas?

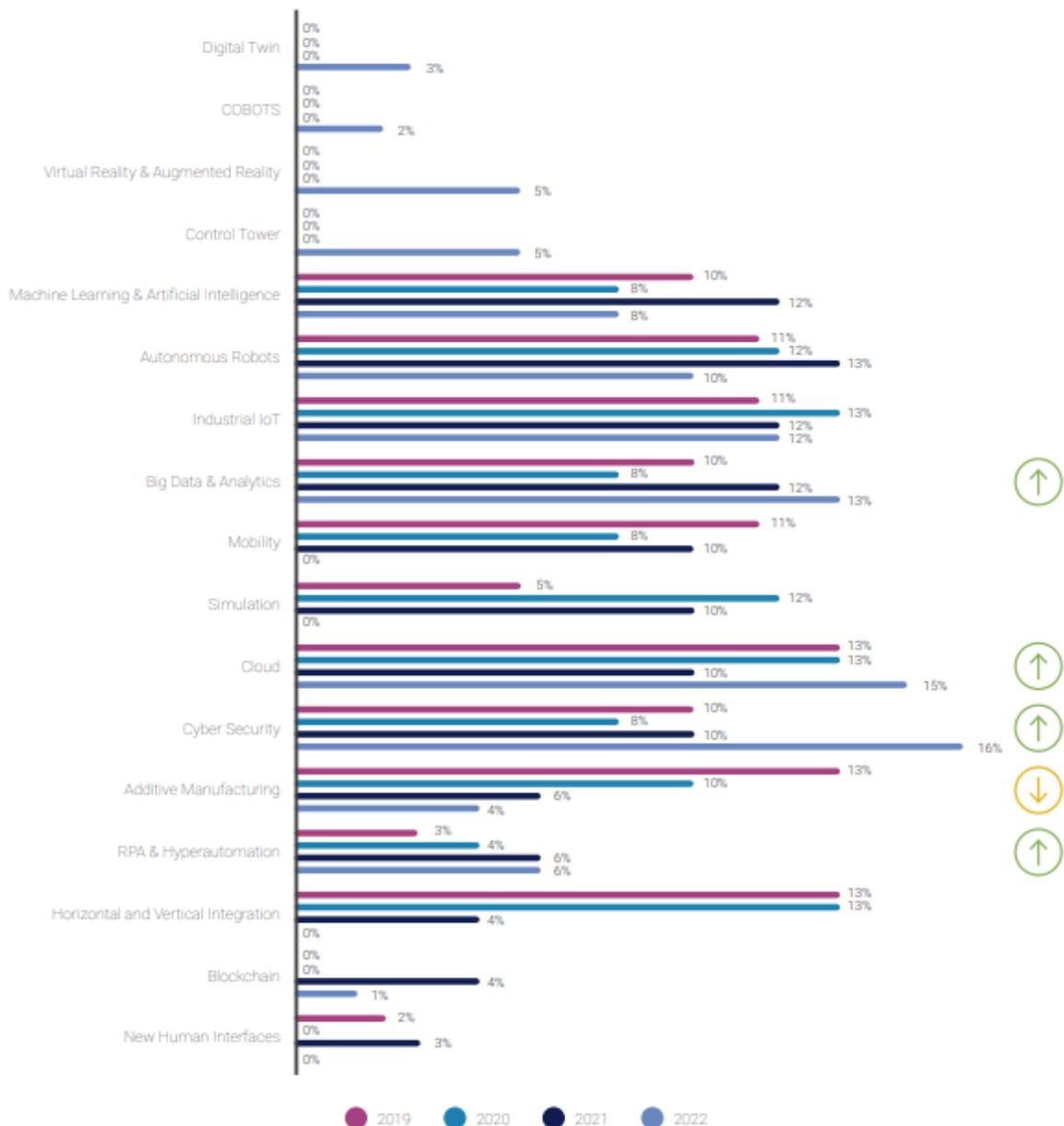


Figura 14. Presencia de paradigmas en 2022 (Observatorio de la Industria 4.0, 2022)

En cuanto al índice de desarrollo a futuro de cada paradigma, destaca el drástico declive de los Robots Autónomos, que pierde gran interés y deja de ser uno de los paradigmas en los que más planificaban invertir las compañías. El resto de las tecnologías continuaron teniendo un interés

parecido al del año anterior, si bien la nueva tecnología Digital Twin parece que continuaría creciendo dado que más empresas planeaban invertir en ella de las que la usaban en ese momento.

### ¿En qué tecnologías planean invertir más las empresas en los próximos años?

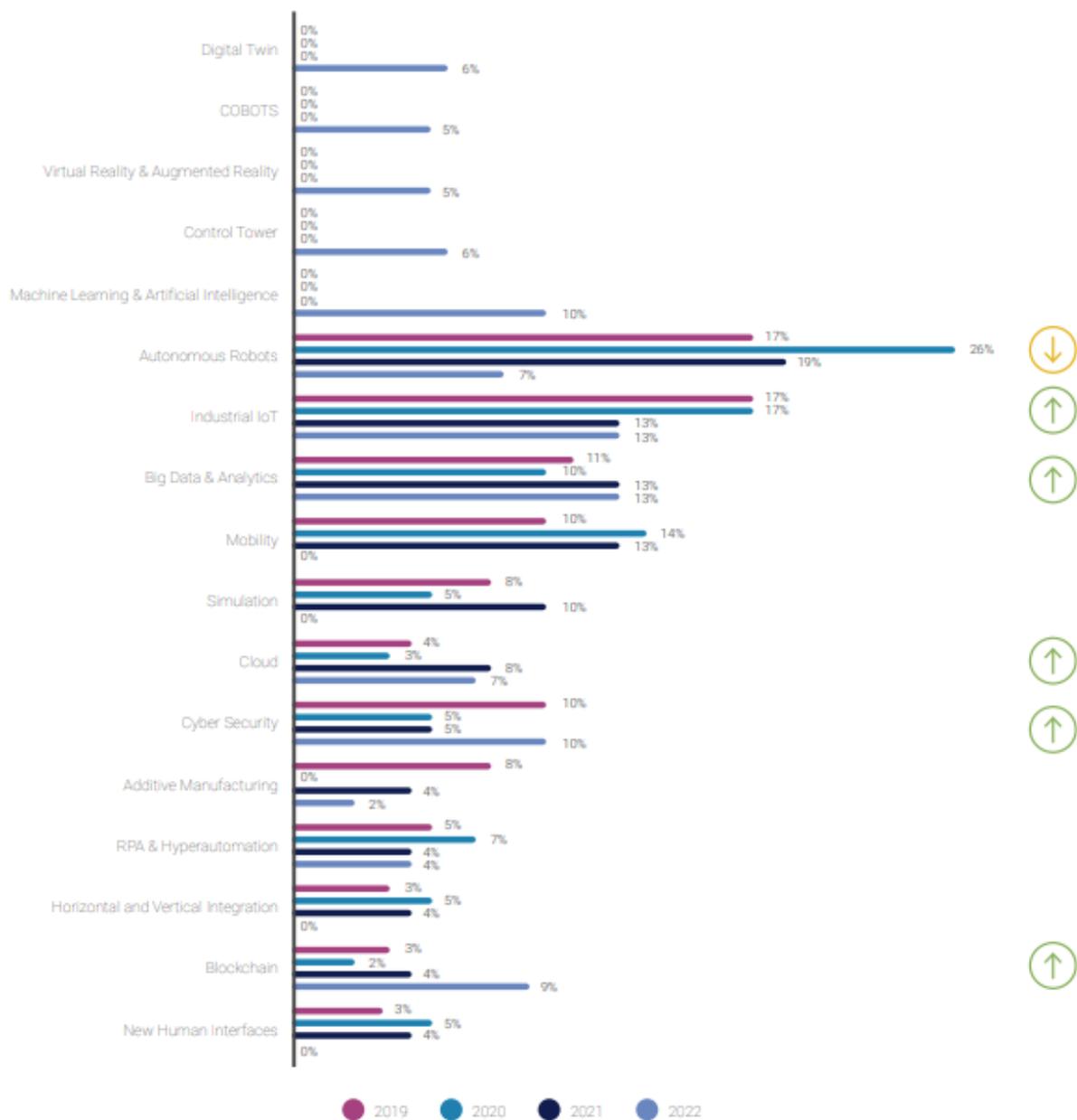


Figura 15. Inversión en paradigmas en 2022 (Observatorio de la Industria 4.0, 2022)

Sin embargo, también se identificaron desafíos persistentes en el camino hacia la plena transformación digital. En primera posición se colocan las dudas sobre los beneficios que aportarán al negocio las inversiones en nuevas tecnologías y su retorno. Y al igual que años anteriores, siguen de cerca, aunque con tendencia a la baja, la resistencia a la innovación y la falta de formación de los trabajadores. Con notable crecimiento, se dispara la preocupación en cuanto a la ciberseguridad, siendo comprensible en una industria cada vez más digitalizada y conectada.

Afortunadamente, prácticamente desaparecieron las preocupaciones sobre inversiones iniciales sustanciales como barrera para la adopción de la Industria 4.0. Esta evolución sugiere una mentalidad más pragmática y realista, indicando una mayor confianza en las ventajas de la digitalización. Además, la disminución de estas preocupaciones puede impulsar la innovación y la competitividad al facilitar la adopción de tecnologías 4.0.

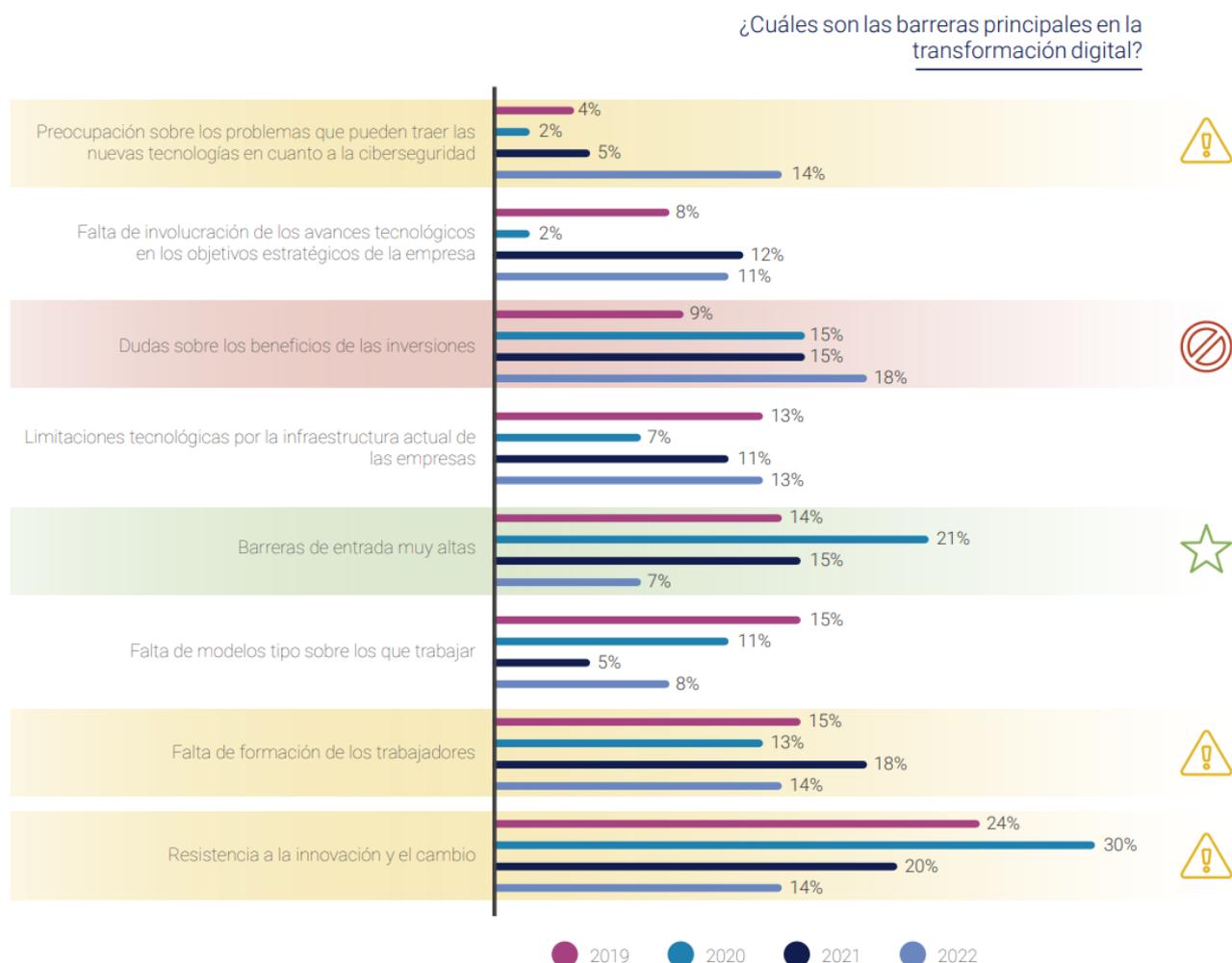


Figura 16. Barreras de la Industria 4.0 en 2022 (Observatorio de la Industria 4.0, 2022)

En resumen, el informe Smart Industry de 2022 destaca el crecimiento continuo de la digitalización en el sector industrial, a pesar de preocupaciones por la capacitación de empleados y la inestabilidad económica. Se observa un cambio hacia tecnologías emergentes como la realidad virtual/aumentada y Digital Twin, aunque algunas tradicionales muestran declive.

La disminución de las preocupaciones sobre barreras de entrada altas indica mayor confianza en los en la adopción de la Industria 4.0. Aun así, persisten desafíos como dudas sobre retorno de inversión y ciberseguridad, resaltando la necesidad de abordar obstáculos para una transformación digital efectiva.

### **2.2.6 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL AÑO 2023**

Después de unos años de inestabilidad continua, la presión inflacionaria estuvo presente en 2023 y, presumiblemente, continuó elevada en los siguientes ejercicios, ocasionando una fuerte presión en los costes de las materias primas, energía y costes salariales. Pese a esta realidad, las empresas encararon el futuro próximo con optimismo, aunque era claro que a partir de entonces cualquier proyecto de transformación digital tenía obligadamente que reportar una mejora de eficiencia y un ROI adecuado. La madurez de muchas tecnologías 4.0 permitió ya un enfoque puro a resultados, relegando a un segundo plano la prueba o descubrimiento de nuevas tecnologías.

El informe reafirma el crecimiento continuo de la digitalización en el sector industrial, evidenciado por una mayor adopción de tecnologías avanzadas en las empresas. Sin embargo, persistieron preocupaciones sobre la capacitación de los empleados para aprovechar al máximo estas tecnologías, lo que sugiere la necesidad de una mayor inversión en programas de formación y desarrollo de habilidades.

En términos de tecnologías específicas, se observó una mayor presencia de tecnologías 4.0 como la fabricación aditiva, la IA & ML y la RPA & Hyperautomation. Según el informe del Observatorio de la Industria (2023), se espera que “estas tecnologías van a tener un recorrido relevante en el futuro cercano pues buscan primordialmente la reducción de costes operativos, un aspecto que será irrenunciable para obtener retornos de inversión positivos mediante la tecnología” (p.30). En cambio, la tecnología VR y AR sufrió un decremento notable, estando solo presente en un 1% de las empresas encuestadas. Cabe destacar que los Robots Autónomos ya no aparecen en este informe como un paradigma aparte. Esto seguramente se deba a que se incluyan en la tecnología de IA & ML porque al fin y al cabo es la tecnología en la que se basan para poder actuar de forma independiente al ser humano.

### ¿Cuáles son las tecnologías más presentes actualmente en las empresas?

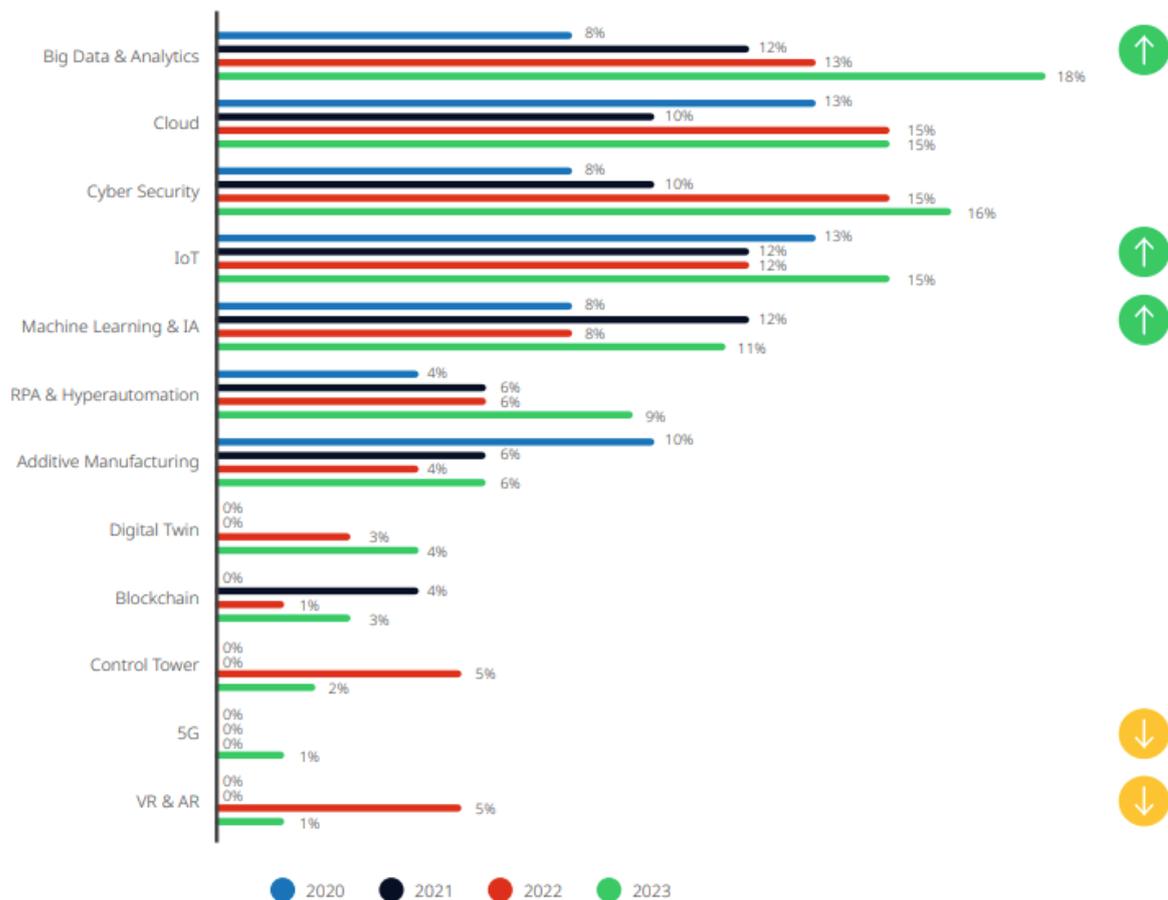
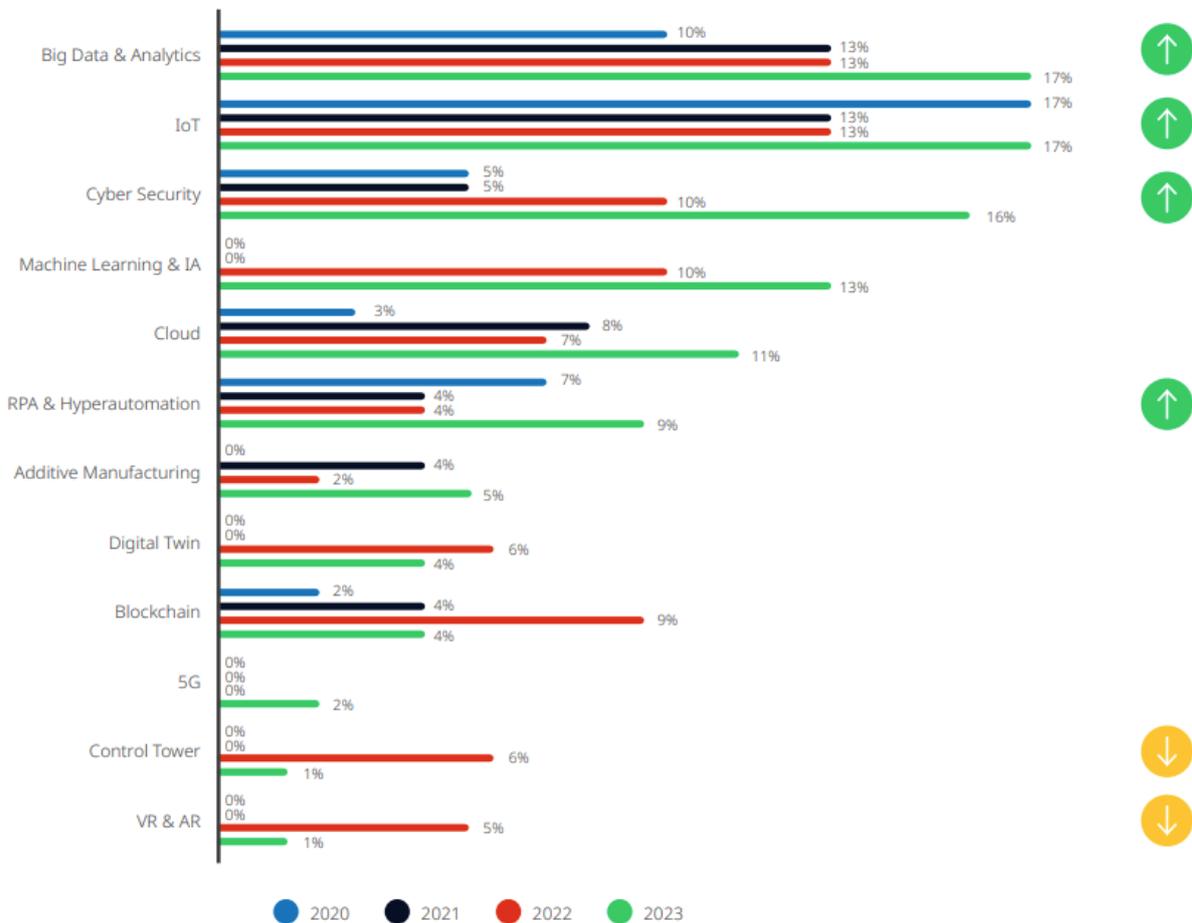


Figura 17. Presencia de paradigmas en 2023 (Observatorio de la Industria 4.0, 2023)

En términos de inversiones futuras, creció el interés por las tecnologías de IA & ML, RPA & Hyperautomation, y la fabricación aditiva. Por otro lado, el Gemelo Digital también se perfiló como una tecnología de gran potencial pese a su escasa presencia debida al bajo conocimiento práctico de las empresas sobre esta tecnología. Según el Observatorio de la Industria (2023, p.31), se vaticina que su adopción aumente a medida que se descubran más aplicaciones y casos de uso. Por último, la tecnología VR & AR prácticamente desaparece de los planes de inversión de las empresas del sector industrial.

**¿En qué tecnologías planean invertir más las empresas en los próximos años?**



*Figura 18. Inversión en paradigmas en 2023 (Observatorio de la Industria 4.0, 2023)*

A pesar de estos avances, persistieron desafíos importantes en el camino hacia la plena adopción de la Industria 4.0. Las preocupaciones sobre los beneficios de las inversiones en nuevas tecnologías y su retorno duplicaron su relevancia respecto al año anterior, con más de un tercio de las empresas encuestadas de acuerdo con ello, convirtiéndose en la mayor barrera actual en el paso a la Industria 4.0. Esto concuerda con las circunstancias comentadas anteriormente sobre la creciente presión en los costes y la eficiencia marcadas en la actualidad.

Además, la resistencia a la innovación y al cambio, y la falta de modelos y estándares de adopción digital listos para ser utilizados se convirtieron en las siguientes barreras más relevantes. Por suerte,

disminuyó notablemente la importancia de otras barreras comunes en otros años anteriores como la falta de alineación estratégica con los avances tecnológicos, la falta de formación de trabajadores y la preocupación sobre los problemas de ciberseguridad asociados a las nuevas tecnologías. Esto demuestra el éxito parcial de los planes de transformación llevados a cabo por las empresas desde hace años.

### ¿Cuáles son las barreras principales en la transformación digital?

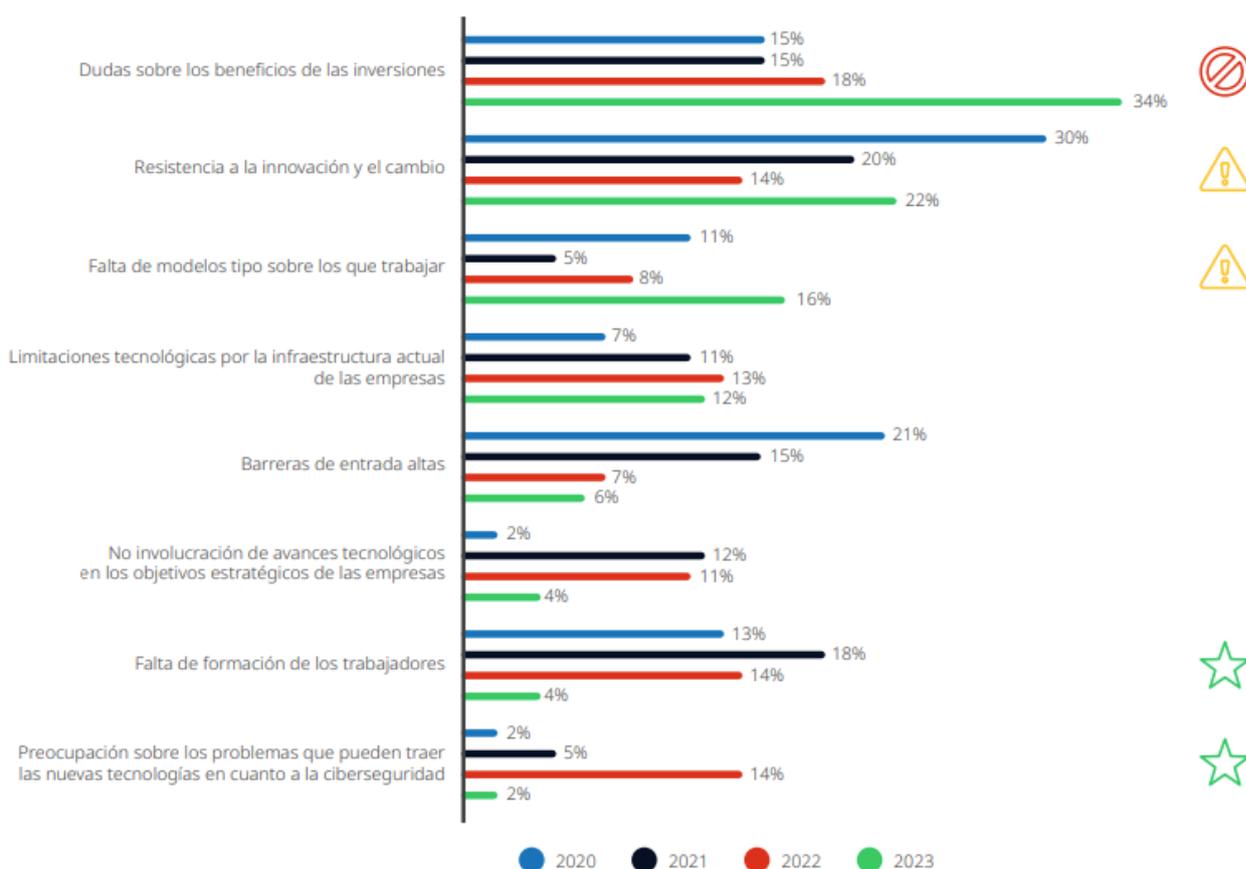


Figura 19. Barreras de la Industria 4.0 en 2023 (Observatorio de la Industria 4.0, 2023)

En conclusión, el año 2023 ha sido testigo de avances significativos en la adopción de tecnologías avanzadas en la Industria 4.0, como la fabricación aditiva, la inteligencia artificial y la hiperautomatización. A pesar de las persistentes preocupaciones sobre los costes y la eficiencia, las empresas han demostrado un optimismo continuo al encarar el futuro, enfocándose en mejorar la rentabilidad y la eficacia de sus proyectos de transformación digital. Sin embargo, siguen existiendo

desafíos importantes, especialmente en lo que respecta a las dudas sobre los beneficios de las inversiones en nuevas tecnologías, lo que destaca la necesidad de una mayor claridad y análisis en la evaluación de retornos de inversión.

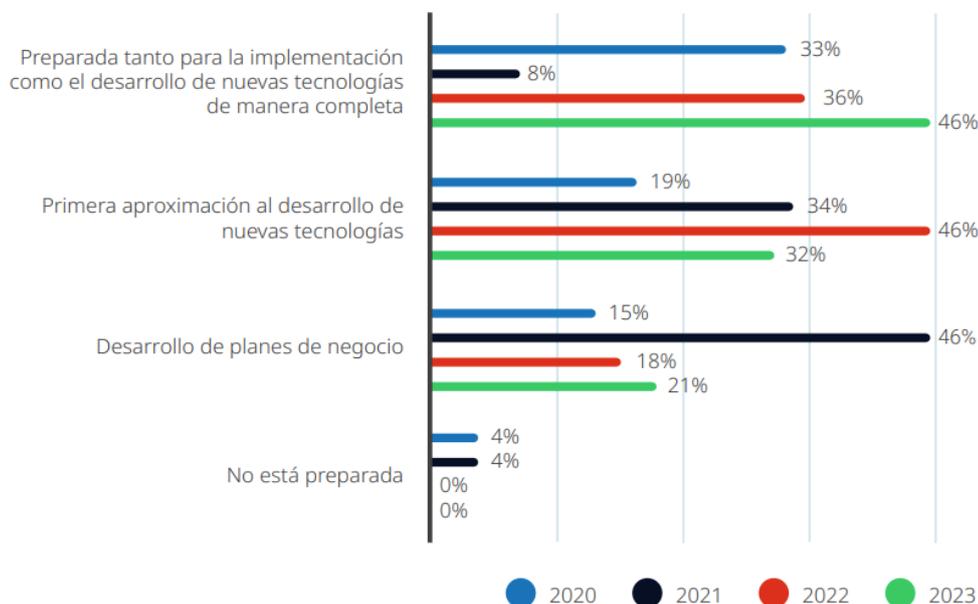
Además de los avances tecnológicos, el informe destaca un claro enfoque de las empresas en la eficiencia de costes y oportunidades de mejora en áreas clave como la automatización de procesos, la gestión energética, el control de inventarios y la cadena de suministro. También se observa un aumento en la preparación de las empresas para la implementación de nuevas tecnologías, aunque persisten desafíos importantes, como la antigüedad de los activos industriales y la volatilidad del mercado. Estos hallazgos reflejan una evolución positiva hacia la transformación digital en 2023, aunque aún quedan obstáculos por superar en el camino hacia la plena adopción de la Industria 4.0.

## **2.3 La Industria 4.0 en la actualidad**

El análisis detallado de la evolución de la Industria 4.0 desde 2018 hasta 2023 revela una progresión notable en la adopción y el desarrollo de tecnologías clave en el sector industrial español. Durante estos años, se ha observado un aumento significativo en la conciencia y el compromiso de las empresas con la transformación digital, reflejado en la planificación y la implementación de estrategias para incorporar tecnologías 4.0.

De acuerdo con los datos mostrados en el último informe Smart Industry, en el año 2021 la mayoría de las empresas empezaron a desarrollar planes de negocio y hacer una primera aproximación a la implantación de nuevas tecnologías. Dos años más tarde, en 2023, aproximadamente la mitad de las empresas del sector industrial estaba preparada tanto para la implementación como el desarrollo de nuevas tecnologías de manera completa, un tercio había realizado una primera aproximación y el resto se encontraba en fase de desarrollo de planes de negocio (Observatorio de la Industria 4.0, 2023).

**Preparación de las compañías para desarrollo e implantación de nuevas tecnologías**



*Figura 20. Preparación de las compañías para la implantación de nuevas tecnologías (Observatorio de la Industria, 2023)*

Se concluye de esta manera que, actualmente en el año 2024, la mayoría de las empresas españolas ya están listas para adoptar con efectividad estas nuevas tecnologías. Además, no hay ninguna compañía que todavía no haya comenzado la preparación para la implantación de alguna de estas tecnologías que definen la Industria 4.0.

En cuanto a las seis tecnologías 4.0 en las cuales se centra específicamente este trabajo, los paradigmas 7-12, se han observado las siguientes tendencias desde el año 2018:



Figura 21. Presencia e inversión en paradigmas 7, 8, 9, 10, 11 y 12 [Elaboración propia]

En primer lugar, la Inteligencia Artificial & Machine Learning (IA & ML) emerge como una de las tecnologías más relevantes debido a su creciente presencia y a la alta disposición a invertir en ella. A lo largo de los años ha habido un crecimiento gradual en su presencia en las empresas del sector industrial con un pico del 12% en 2021. Aunque ha habido fluctuaciones en los niveles de inversión, es una de las tecnologías en las que más se ha invertido cada año desde 2018. Por ende, el

crecimiento general de esta tecnología la convierte en uno de los pilares principales de la Industria 4.0. La IA y el aprendizaje automático ofrecen capacidades avanzadas de análisis de datos y optimización de procesos, lo que las hace indispensables para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones en la nueva industria.

Seguidamente, los robots autónomos destacan por su presencia constante y la alta disposición a invertir en ellos, llegando a su pico en 2023 con un 13% de las empresas dispuestas a invertir en esta tecnología. Los robots autónomos utilizan IA y por ello su evolución seguramente sea similar. Los valores de su gráfica reflejan una fuerte demanda y una percepción positiva de los beneficios que ofrecen estos sistemas automatizados. Estos robots ofrecen automatización avanzada y flexibilidad en la ejecución de tareas, lo que les permite desempeñar un papel fundamental en la optimización de la producción y la logística.

Asimismo, la creciente adopción y la disposición a invertir en RPA & Hyperautomation subrayan su relevancia para la automatización de procesos en la industria. En 2023, el 9% de las empresas informaron sobre la presencia de RPA & Hyperautomation, mientras que el 9% estaba dispuesto a invertir en esta tecnología, siendo ambos los máximos de la gráfica hasta la fecha. Estos datos indican un interés continuo en mejorar la eficiencia y la agilidad operativa mediante la integración y coordinación de sistemas automatizados. La tendencia al alza de su presencia en las empresas y la inversión destinada a esta tecnología, sugieren que seguramente su interés siga aumentando durante los próximos años.

Por otro lado, las nuevas interfaces humanas, como la realidad virtual y aumentada (VR & AR), han experimentado un crecimiento irregular y la intención de inversión se ha mantenido relativamente baja. En 2023, solo el 1% de las empresas informaron sobre la presencia de VR y AR, mientras que también solo el 1% estaba dispuesto a invertir en esta tecnología. Esta pérdida notable de interés probablemente se deba a la necesidad de una mayor demostración de su valor y aplicaciones prácticas en el entorno industrial.

La simulación, y en concreto el Digital Twin, ha tenido una evolución inconsistente a lo largo de los años, teniendo muchas fluctuaciones en su presencia en el sector industrial. Actualmente solo está presente en un 4% de las empresas porque se encuentra en fase de descubrimiento. Sin embargo,

la disposición a invertir en esta tecnología ha sido más constante, aunque no muy alta, y seguramente crezca según las empresas la comprendan mejor y se descubran aplicaciones prácticas.

Finalmente, la fabricación aditiva, a pesar de su alta presencia en 2019, parece no ser considerada prioritaria actualmente en comparación con otras tecnologías. En 2023, el 6% de las empresas informaron sobre la presencia de fabricación aditiva, y solo el 5% estaba dispuesto a invertir en esta tecnología. Aunque ofrece ventajas en términos de flexibilidad y personalización, es posible que las empresas consideren otras opciones de inversión con un retorno más inmediato.

En resumen, la inteligencia artificial, los robots autónomos y la automatización avanzada parecen ser las tecnologías más relevantes en el sector industrial en la actualidad, debido a su capacidad para mejorar la eficiencia, la productividad y la toma de decisiones. Por otro lado, las nuevas interfaces humanas, el digital twin y la fabricación aditiva pueden carecer de importancia relativa debido a la necesidad de una mayor demostración de su valor y aplicaciones prácticas en el entorno industrial.

A medida que avanzamos hacia el futuro, es evidente que las empresas están adoptando un enfoque más pragmático y orientado a resultados en su camino hacia la Industria 4.0, buscando una mejora tangible en la rentabilidad y la eficacia de sus proyectos de transformación digital. Sin embargo, hoy en día persisten barreras que son cruciales para garantizar una adopción efectiva y sostenible de la Industria 4.0 en el futuro.

Principalmente, se han identificado tres barreras a superar:

- 1. Las dudas sobre los beneficios de las inversiones en nuevas tecnologías**
- 2. La resistencia a la innovación y al cambio**
- 3. La falta de modelos tipo sobre los que trabajar**

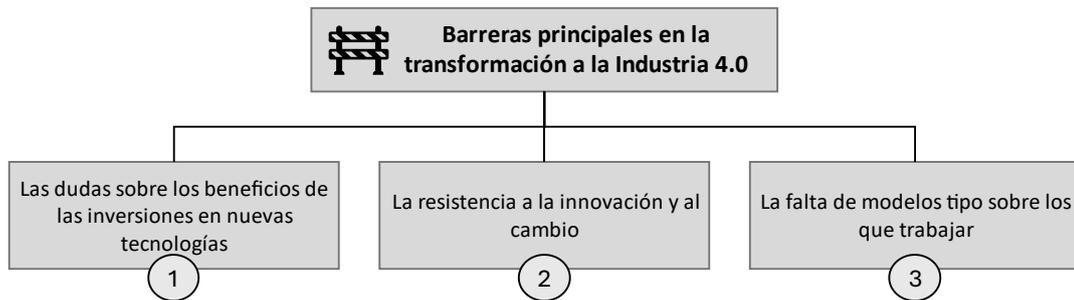


Figura 22. Barreras principales en la transformación a la Industria 4.0 en España [Elaboración propia]

## 2.4 El futuro de la Industria 4.0

Tras analizar la evolución de la Industria 4.0 desde 2018 hasta la actualidad a través de seis de sus tecnologías clave, denominadas paradigmas 7 a 12 en este trabajo, resulta interesante estudiar cuál puede ser el futuro de la Industria 4.0.

Para ello, en este apartado se utilizarán los “Hype Cycles” introducidos por la firma de investigación y consultoría Gartner que representan el ciclo de vida de una tecnología emergente, desde su concepción inicial hasta su adopción y madurez (Gartner, s.f.). Estos ciclos se representan gráficamente y muestran cinco fases principales:

- 1) *Innovation Trigger* (Lanzamiento): En esta etapa, una nueva tecnología comienza a captar la atención de los medios y de los primeros adoptantes. Suele haber una gran expectación y entusiasmo en torno a sus posibles aplicaciones y beneficios.
- 2) *Peak of Inflated Expectations* (Pico de Expectativas Sobredimensionadas): En esta fase, el interés en la tecnología alcanza su punto máximo. Se generan grandes expectativas sobre sus posibilidades y se espera que revolucione diferentes sectores. Sin embargo, en esta etapa, es común que haya una sobrevaloración de las capacidades de la tecnología.
- 3) *Trough of Disillusionment* (Abismo de Desilusión): Aquí es donde la tecnología empieza a enfrentarse a la realidad. Se descubren limitaciones y desafíos que no se habían tenido en cuenta durante el pico de expectativas infladas. Como resultado, el interés y la confianza en la tecnología pueden disminuir considerablemente.

- 4) *Slope of Enlightenment* (Rampa de Consolidación): En esta fase, se comienza a comprender mejor la tecnología y sus aplicaciones prácticas. Las organizaciones aprenden a utilizarla de manera más efectiva y se desarrollan soluciones para superar los desafíos identificados durante el valle de la desilusión.
- 5) *Plateau of Productivity* (Meseta de Productividad): Finalmente, la tecnología alcanza un nivel de adopción más estable. Se establecen mejores prácticas y se integra en los procesos y sistemas existentes de manera más amplia. La tecnología se convierte en una parte establecida del panorama empresarial.

Estos Hype Cycles de Gartner permitirán hacer una aproximación a cuáles pueden ser las tendencias globales en la evolución futura de cada uno de los paradigmas en los que se centra este trabajo, y de este modo, tener una visión más completa de la evolución de la Industria 4.0.

## 2.4.1 EL FUTURO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

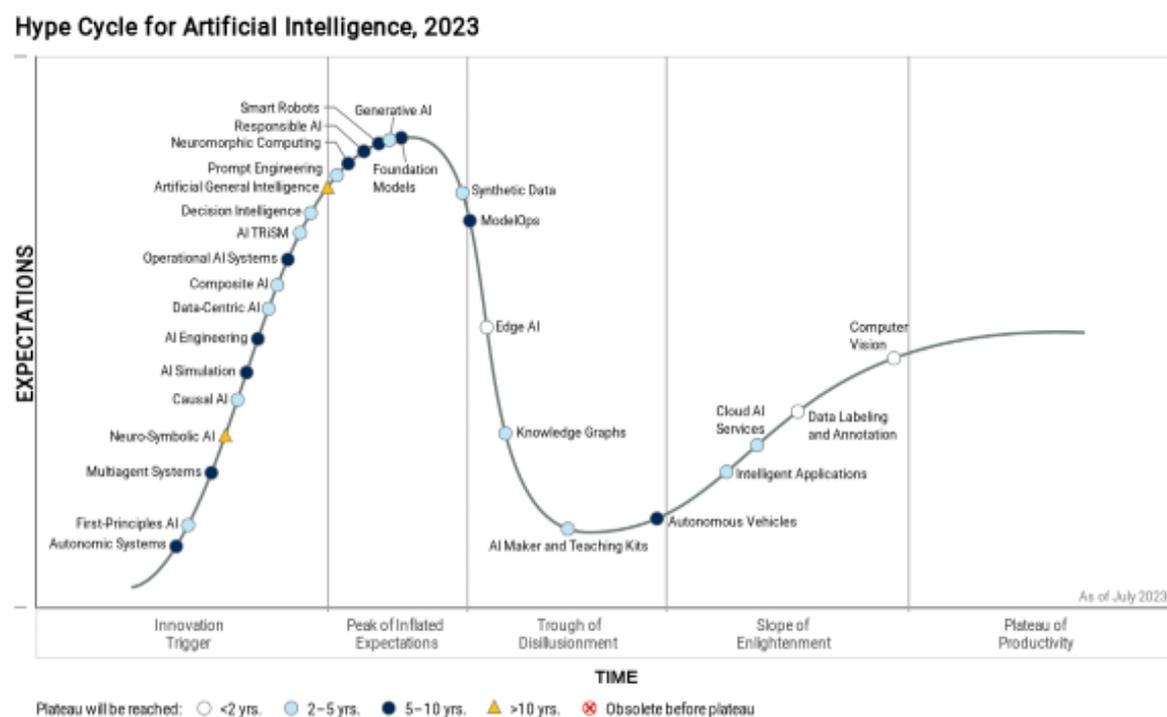


Figura 23. Hype Cycle for Artificial Intelligence, 2023 (Gartner, 2023)

En el “Hype Cycle for Artificial Intelligence, 2023” de Gartner (2023) se aprecian muchas de las diferentes aplicaciones de Inteligencia artificial que existen y su grado de madurez. Se observa cómo comprenden desde la fase de lanzamiento hasta la fase de rampa de consolidación y destaca la rapidez de desarrollo y adopción de muchos de estos casos, siendo de menos de 5 años en muchos de estos casos. Además, Gartner califica el beneficio de todas las innovaciones de IA que aparecen en el gráfico como muy altos e incluso transformacionales.

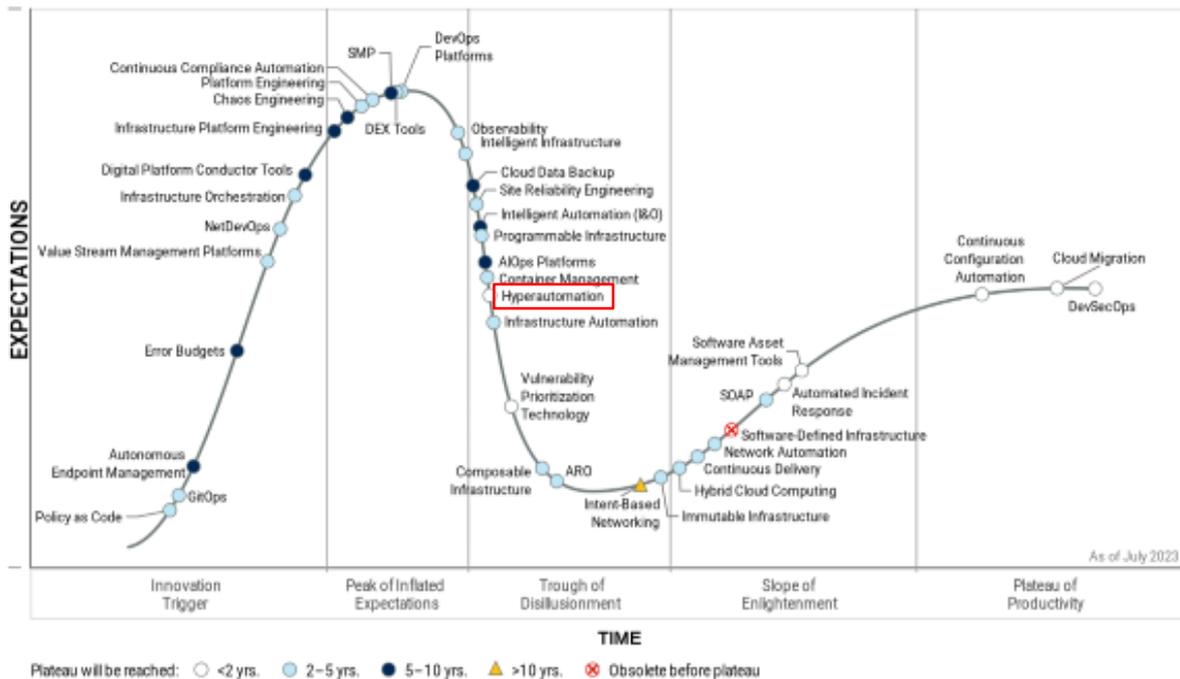
Uno de los casos más relevantes en el panorama actual es la IA Generativa por la reciente irrupción de modelos como ChatGPT, cuyo impacto ha sido transformador en todo el mundo, incrementando la productividad de desarrolladores y trabajadores del conocimiento y llevando a las organizaciones a replantearse sus procesos empresariales y el valor de los recursos humanos (Wu et al., 2023). Este tipo de IA puede generar nuevas versiones derivadas de contenido, estrategias, diseños y métodos aprendiendo de grandes repositorios de contenido original.

Según este Hype Cycle, la IA Generativa se encuentra en una fase de adolescencia en términos de madurez y se espera que se incorpore rápidamente en productos y servicios tecnológicos en los próximos 12 meses. Su impacto potencial es considerado uno de los mayores de la última década, lo que la convierte en unas de las tecnologías más importantes en el futuro de la Industria 4.0.

Sin embargo, existen obstáculos importantes a superar, como preocupaciones éticas y sociales, desafíos en la detección de contenido generado, desplazamiento laboral y la alta demanda de recursos informáticos para entrenar modelos generativos. La adopción segura y responsable de la IA Generativa requerirá esfuerzos en la mitigación de riesgos y la colaboración entre expertos legales, de seguridad y técnicos.

## 2.4.2 EL FUTURO DE LA HIPERAUTOMATIZACIÓN

**Hype Cycle for I&O Automation, 2023**



**Gartner**

*Figura 24. Hype Cycle for I&O Automation, 2023 (Gartner, 2023)*

La tecnología de hiperautomatización, según el "Hype Cycle for I&O Automation, 2023" de Gartner (2023), se encuentra en el principio de la fase del 'Abismo de Desilusión'. Esta fase se caracteriza por una disminución en la atención pública y en la actividad de inversión, a medida que las realidades de la tecnología comienzan a establecerse (Gartner, 2023). Sin embargo, esto no significa que la tecnología carezca de valor o potencial; más bien, refleja una fase de ajuste y refinamiento a medida que las organizaciones aprenden a implementarla de manera efectiva.

La hiperautomatización es un enfoque disciplinado que las organizaciones utilizan para identificar, evaluar y automatizar rápidamente la mayor cantidad posible de procesos empresariales e informáticos. Este enfoque implica el uso coordinado de múltiples tecnologías, herramientas o plataformas para lograr resultados comerciales. Estas tecnologías incluyen, entre otras, inteligencia artificial, aprendizaje automático, arquitectura de software orientada a eventos, automatización de

procesos robóticos (RPA), iPaaS, software empaquetado y herramientas de automatización de procesos/tareas.

La hiperautomatización es fundamental debido a la demanda constante de crecimiento acelerado a través de la innovación o disrupción del modelo de negocio, junto con la necesidad subyacente de excelencia operativa en los procesos y funciones. Las iniciativas de hiperautomatización pueden conducir a resultados comerciales significativos, como la optimización de costos, el crecimiento, la agilidad empresarial o la innovación. Estos resultados pueden manifestarse en procesos empresariales o informáticos de mayor calidad y más resilientes, velocidad en el tiempo de comercialización, reducción del tiempo de ciclo y toma de decisiones inteligentes basadas en datos a escala.

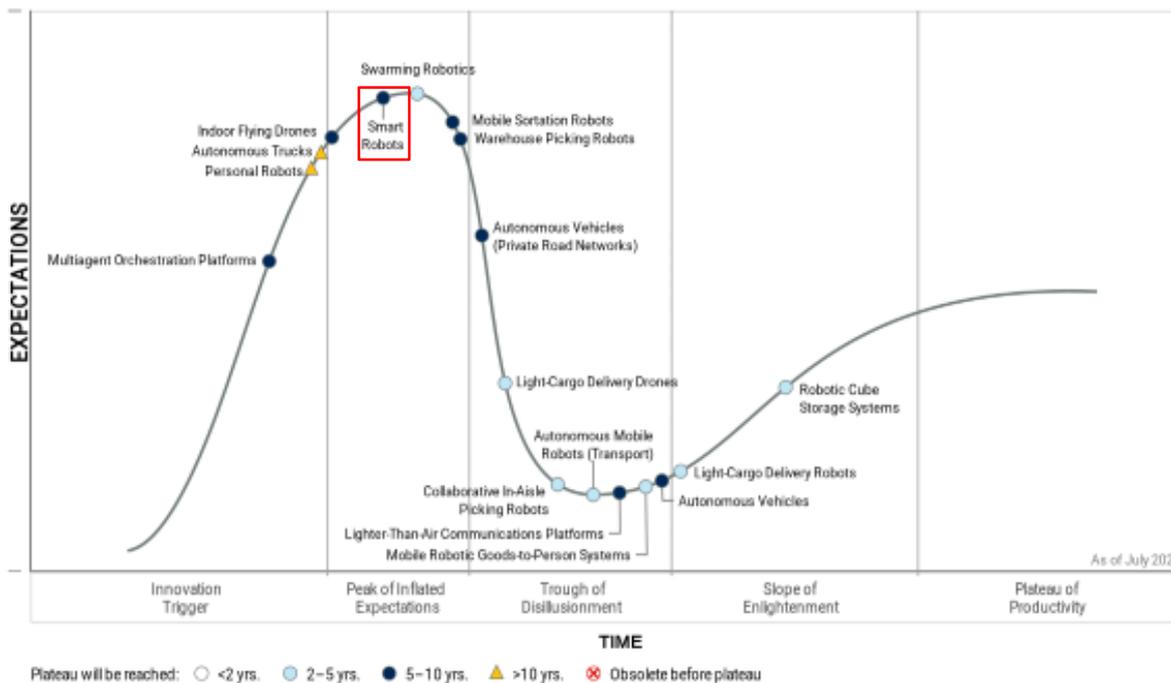
Los impulsores principales de la hiperautomatización incluyen la financiación de las unidades de negocio, que continúan contratando y financiando iniciativas impulsadas por equipos de fusión y tecnólogos empresariales. Se prevé que el gasto en iniciativas de hiperautomatización supere el billón de dólares en 2023 (Gartner, 2023), lo que incluye gastos en productos (software, plataformas y herramientas) junto con servicios de consultoría, integración de sistemas y servicios gestionados.

Sin embargo, existen obstáculos que deben superarse, como la falta de medición de valor cuantificable, la falta de planificación para el costo total de propiedad (TCO) o la gobernanza, el enfoque "en silos", la confusión tecnológica y el gasto excesivo. Para maximizar las posibilidades de éxito en las iniciativas de hiperautomatización, las organizaciones deben definir una propiedad y métricas compartidas, maximizar la arquitectura y planificación de múltiples iniciativas concurrentes, y establecer una estructura de gobernanza adaptativa para gestionar riesgos y optimizar el TCO.

En resumen, aunque la hiperautomatización está en la fase de 'Abismo de Desilusión', sigue siendo una tecnología transformadora con un gran potencial para generar resultados comerciales significativos. Además, se espera que llegue a la fase final de Meseta de Productividad en menos de 2 años. Hasta entonces, las organizaciones deben abordar los desafíos y obstáculos con una estrategia clara y una gestión cuidadosa para aprovechar al máximo sus beneficios.

### 2.4.3 EL FUTURO DE LOS ROBOTS AUTÓNOMOS

Hype Cycle for Mobile Robots and Drones, 2023



Gartner

Figura 25. Hype Cycle for Mobile Robots and Drones, 2023 (Gartner, 2023)

Los Robots Autónomos, también conocidos como Smart Robots, se encuentran actualmente en el punto más alto de la fase de 'Pico de Expectativas Sobredimensionadas' según el "Hype Cycle for Mobile Robots and Drones, 2023" de Gartner (2023). Esta fase se caracteriza por una gran atención pública y expectativas exageradas sobre la tecnología, donde la emoción y el entusiasmo superan a la realidad y la implementación práctica.

A pesar de estar en esta etapa de altas expectativas, los Smart Robots todavía se encuentran en una etapa emergente de madurez, con una penetración en el mercado que oscila entre el 1% y el 5% de su audiencia objetivo. Se estima que aún les quedan entre 5 y 10 años para alcanzar la fase final de la Meseta de Productividad (Gartner, 2023).

El impacto comercial de los Smart Robots es significativo y diverso, ya que están siendo adoptados en una amplia gama de industrias y casos de uso, desde la atención médica hasta la fabricación y la

logística. Su capacidad para reducir el riesgo físico para los humanos, así como para realizar trabajos con mayor confiabilidad, menores costos y mayor productividad, los convierte en una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia y la seguridad en diversas áreas laborales.

Los impulsores detrás del crecimiento de los Smart Robots incluyen avances tecnológicos en áreas como la integración del Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial en el borde y las capacidades conversacionales. Estos avances están ampliando los casos de uso y aumentando el valor comercial de los Smart Robots en una variedad de industrias.

Sin embargo, también existen desafíos por superar, como la identificación de casos de uso comercial valiosos y la evaluación del retorno de la inversión, así como la necesidad de mejorar la conectividad y la inteligencia artificial en el borde para permitir una mayor autonomía y movilidad de los robots.

Según Gartner (2023), las organizaciones pueden maximizar el potencial de esta tecnología en los próximos años, llevando a cabo una serie de acciones que incluyen:

- Evaluar los Smart Robots como sustitutos y complementos de su fuerza laboral humana en diversas industrias y funciones laborales.
- Iniciar pilotos diseñados para evaluar la capacidad del producto y cuantificar los beneficios, especialmente dado que el retorno de la inversión es posible incluso con implementaciones a pequeña escala.
- Examinar los procesos comerciales actuales tanto para la implementación actual de Smart Robots como para la implementación a gran escala en los próximos tres a cinco años.
- Considerar diferentes modelos de compra para los Smart Robots, incluidos la compra directa, el arrendamiento mensual o el cobro por hora, así como el modelo de robot como servicio.
- Disolver la reticencia del personal mediante el desarrollo de recursos de capacitación para presentar los robots junto con los humanos como asistentes.
- Asegurarse de contar con suficientes recursos de computación en la nube para admitir conectividad de alta velocidad y baja latencia en los próximos dos años.

- Evaluar múltiples proveedores globales y regionales debido a la fragmentación dentro del panorama de robots.

En resumen, los Smart Robots se encuentran en una fase de alta expectativa y crecimiento emergente, con un potencial significativo para transformar una amplia gama de industrias y funciones laborales. A medida que superan los obstáculos y se maximiza su potencial mediante la adopción inteligente y la integración en los procesos comerciales, se espera que los Smart Robots avancen hacia una mayor madurez y penetración en el mercado en los próximos años, llevándolos finalmente a desempeñar un papel fundamental en la automatización y la mejora de la eficiencia en el lugar de trabajo.

## 2.4.4 EL FUTURO DEL DIGITAL TWIN

### Hype Cycle for ERP, 2023

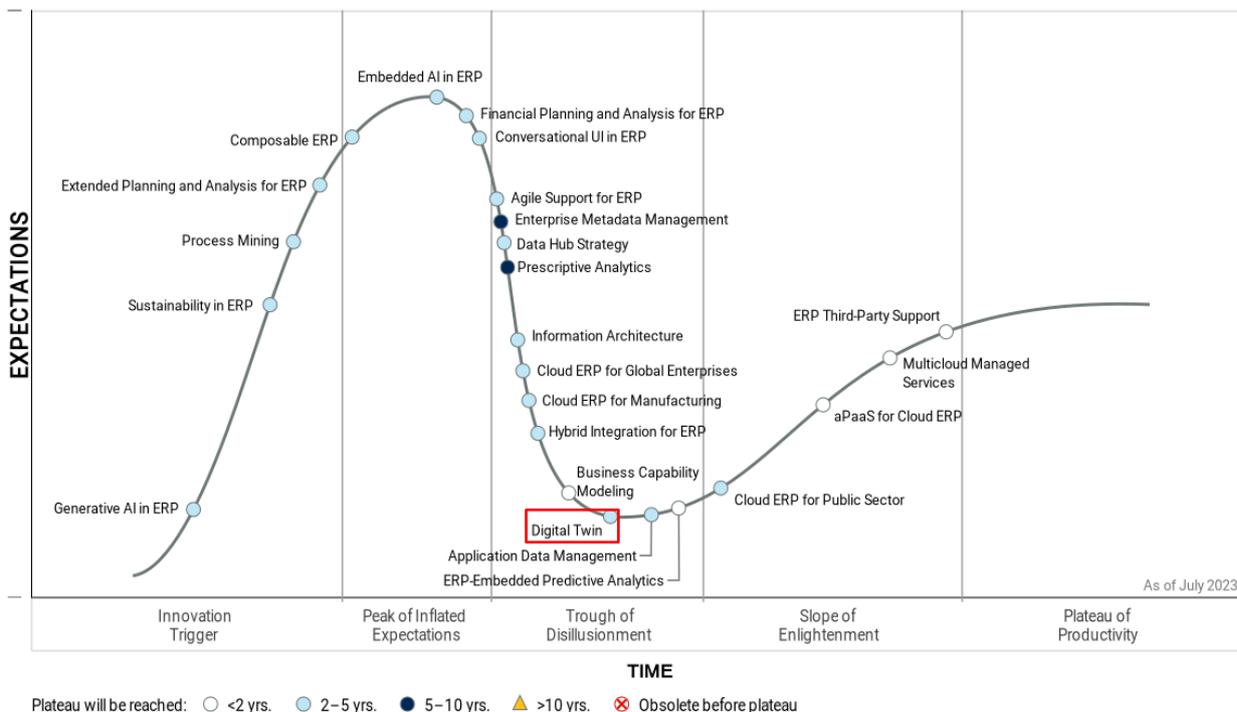


Figura 26. Hype Cycle for ERP, 2023 (Gartner, 2023)

El 'Hype Cycle for ERP, 2023' de Gartner (2023) ofrece una perspectiva relevante sobre la evolución futura de la tecnología de Gemelo Digital debido a que proporciona información sobre las tendencias emergentes en el ámbito de las tecnologías empresariales, lo que ayuda a contextualizar el estado actual y futuro de los Gemelos Digitales dentro del panorama empresarial más amplio. Asimismo, los Gemelos Digitales tienen el potencial de transformar los procesos empresariales y mejorar la visibilidad operativa, comprender cómo estas tecnologías se integran en las estrategias de ERP es crucial para prever su adopción y su impacto en el mercado.

La tecnología del Gemelo Digital se encuentra actualmente en medio de la fase de 'Abismo de Desilusión' a nivel internacional (Gartner, 2023). Aunque actualmente en España se encuentra en una etapa más temprana de descubrimiento y altas expectativas, como se vio en el apartado anterior de este trabajo en el análisis del informe Smart Industry de 2023 (Observatorio de la Industria 4.0, 2023).

En términos de madurez, se considera que los Gemelos Digitales están en una etapa adolescente. Aunque han demostrado su viabilidad en casos de uso específicos y están siendo adoptados por un pequeño porcentaje de su audiencia objetivo, todavía se encuentran en proceso de desarrollo y refinamiento. Sin embargo, su potencial y beneficios potenciales se califican como transformacionales, lo que indica su capacidad para remodelar los procesos empresariales y la toma de decisiones.

Se estima que tardará de 2 a 5 años en alcanzar la Meseta de Productividad, lo que sugiere que la tecnología está avanzando hacia la fase de adopción generalizada, aunque aún enfrenta desafíos significativos en el camino.

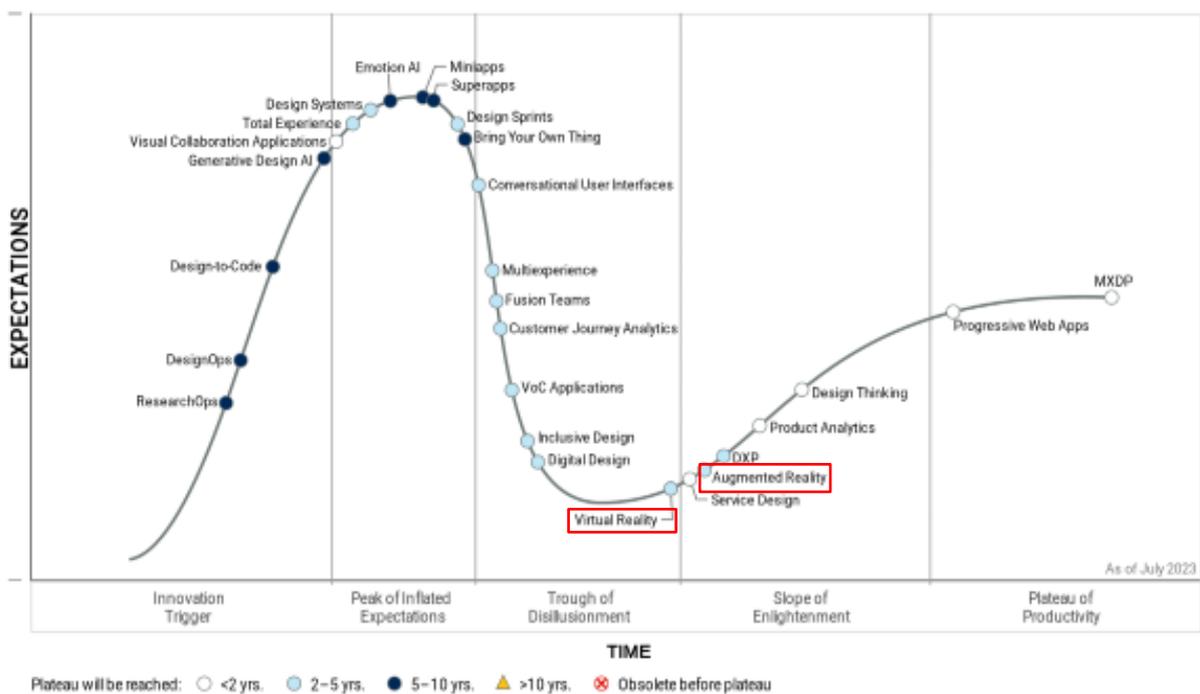
Los impulsores de esta tecnología incluyen la necesidad de las empresas de mejorar la visibilidad operativa, optimizar procesos y buscar nuevos modelos de negocio. Además, la creciente adopción en sectores intensivos en activos, como petróleo y gas, transporte y manufactura, está impulsando el interés y la inversión en Gemelos Digitales.

Sin embargo, también existen obstáculos importantes, como la falta de comprensión sobre los objetivos y métricas de los proyectos basados en Gemelos Digitales, así como la falta de equipos multidisciplinares necesarios para su implementación efectiva.

Para maximizar el potencial de los Gemelos Digitales, las empresas deben co-crear estrategias con las unidades de negocio, identificar casos de uso claros y establecer métricas de éxito. Además, deben seleccionar proveedores que no solo ofrezcan una cartera tecnológica sólida, sino también experiencia en el mercado vertical específico y modelos preconstruidos de Gemelos Digitales.

## 2.4.5 EL FUTURO DE LA REALIDAD VIRTUAL Y LA REALIDAD AUMENTADA

Hype Cycle for User Experience, 2023



Gartner

Figura 27. Hype Cycle for User Experience, 2023 (Gartner, 2023)

El “Hype Cycle for User Experience, 2023” de Gartner proporciona una visión integral de las tendencias emergentes en el campo de la experiencia de usuario (UX), lo que facilita la comprensión de la evolución futura de tecnologías clave como la Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR). A medida que las organizaciones continúan priorizando la mejora de la experiencia de

usuario, este Hype Cycle se convierte en una guía valiosa para identificar las tecnologías que están en la vanguardia de la innovación en UX y comprender su potencial impacto en el mercado.

La Realidad Virtual (VR) se encuentra actualmente al final de la fase de 'Abismo de Desilusión' en el Hype Cycle for User Experience de Gartner (2023). Aunque ha experimentado un crecimiento significativo en términos de interés y adopción, enfrenta desafíos importantes, como la falta de avances en el ecosistema de proveedores, la limitada calidad y alcance del contenido y las preocupaciones de seguridad y comodidad. Sin embargo, su potencial para transformar la capacitación, la colaboración y las experiencias de los clientes sigue siendo considerable, especialmente en áreas como la reducción de costos de entrenamiento, la mejora del ciclo de diseño y la innovación en la participación de los empleados y los clientes.

Los impulsores de la Realidad Virtual incluyen el interés del consumidor impulsado por el auge del metaverso, así como la necesidad empresarial de encontrar soluciones alternativas para la participación del cliente, el entrenamiento remoto y la colaboración, especialmente en el contexto de cambios en la forma de trabajo debido a la pandemia de COVID-19. Aunque enfrenta obstáculos significativos, como la falta de contenido de alta calidad y la escasez de soluciones escalables y listas para empresas, la Realidad Virtual sigue siendo una tecnología prometedora que puede agregar valor a una amplia gama de casos de uso empresarial y de consumo.

Por otro lado, la Realidad Aumentada (AR) se encuentra al principio de la fase de 'Rampa de Consolidación' en este mismo Hype Cycle de Gartner (2023). Aunque todavía está en una etapa temprana de adopción, la Realidad Aumentada está mostrando un alto potencial de transformación en una variedad de industrias, especialmente en sectores intensivos en activos como la minería, la ingeniería y la construcción. Su capacidad para mejorar la eficiencia y la seguridad de los trabajadores de primera línea, así como para ofrecer nuevas experiencias de cliente, la posiciona como una tecnología clave para el futuro de la experiencia de usuario.

Los impulsores de la Realidad Aumentada incluyen el creciente interés empresarial en mejorar la seguridad y la eficiencia de los empleados de primera línea, así como el desarrollo de herramientas de software y hardware más integradas y listas para empresas. Sin embargo, la Realidad Aumentada aún enfrenta obstáculos significativos, como la falta de soluciones llave en mano, la limitada

disponibilidad de contenido digital adecuado y los problemas de usabilidad y accesibilidad. A pesar de estos desafíos, las organizaciones pueden maximizar el potencial de la Realidad Aumentada identificando casos de uso claros, estableciendo objetivos comerciales y tecnológicos claros y seleccionando proveedores que ofrezcan soluciones escalables y adaptables a las necesidades empresariales.

En resumen, tanto la Realidad Virtual como la Realidad Aumentada tienen el potencial de transformar la experiencia de usuario en una variedad de contextos, desde la capacitación y la colaboración hasta la participación del cliente. Según la matriz de prioridades de este Hype Cycle de Gartner (2023), se califica el potencial y los beneficios de ambas tecnologías como considerables, siendo los de la AR altos y los de la VR moderados. Y aunque enfrentan desafíos únicos, su adopción continua y su evolución tecnológica las posicionan como tecnologías clave en el futuro de la experiencia de usuario y se estima que ambas tecnologías lleguen a la Meseta de Productividad en 2-5 años.

#### **2.4.6 EL FUTURO DE LA FABRICACIÓN ADITIVA**

A pesar de la relevancia de la fabricación aditiva en la Industria 4.0, no se ha podido encontrar un Hype Cycle específico que detalle su evolución y madurez tecnológica de manera exhaustiva. Esta falta de información específica sobre el ciclo de adopción y las expectativas asociadas a la fabricación aditiva resalta la necesidad de investigaciones más detalladas y publicaciones futuras que aborden esta tecnología en particular. Como se ha observado, la fabricación aditiva es una tecnología clave con un impacto significativo en diversas industrias, y merece una atención especializada para comprender mejor sus desafíos y oportunidades en el contexto de la Industria 4.0.

## 3 AGILE

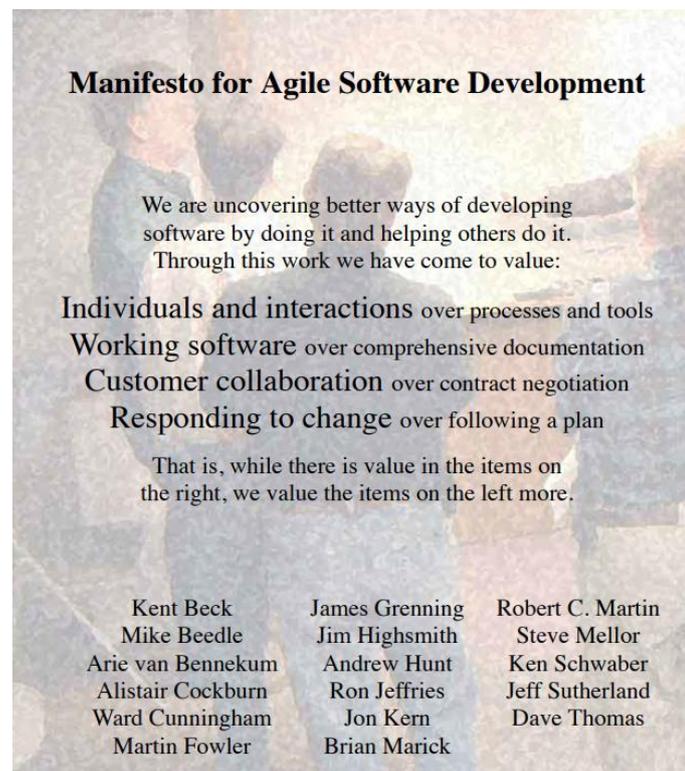
La metodología “Agile” o ágil ha emergido como un paradigma de desarrollo de software y gestión de proyectos altamente adaptable y eficiente, especialmente en entornos caracterizados por la volatilidad, la incertidumbre, la complejidad y la ambigüedad (VUCA), como lo son los contextos industriales inmersos en la transición hacia la Industria 4.0 (Baran & Woznyj, 2020). Este enfoque, basado en principios y valores fundamentales, se ha consolidado como un medio efectivo para impulsar la innovación, la flexibilidad y la colaboración en el desarrollo de productos y servicios.

En este apartado, se explorarán en detalle los pilares de la metodología ágil, su filosofía subyacente, y las metodologías y prácticas concretas que se utilizan en la actualidad para sentar las bases de la propuesta final de este trabajo sobre cómo la metodología Agile puede ser útil para superar las tres barreras principales que enfrentan las empresas españolas en la transformación a la Industria 4.0.

### 3.1 Definición de Agile

La metodología ágil es un enfoque iterativo e incremental para la gestión de proyectos que se centra en la entrega continua de valor al cliente a través de la colaboración activa entre equipos multidisciplinares y clientes. A diferencia de los enfoques tradicionales de gestión de proyectos como la metodología en cascada o “Waterfall”, que se basan en la planificación exhaustiva y la ejecución secuencial (Aroral, 2021), el enfoque ágil aboga por la adaptabilidad, la respuesta al cambio y la entrega temprana de resultados tangibles.

La filosofía Agile se estableció en 2001 por 17 exponentes en el desarrollo de software y se fundamenta en el Manifiesto Agile (Beck et al., 2001). Este documento presenta cuatro valores fundamentales y doce principios que guían el desarrollo eficiente de productos de software. Esta filosofía ha transformado la manera en que se conciben y ejecutan los proyectos, especialmente en el ámbito del desarrollo de software.



*Figura 28. Manifiesto for Agile (Beck et al., 2001)*

### 3.1.1 VALORES ÁGILE

Tal como se establece en el Manifiesto Ágil (Beck et al., 2001), la metodología ágil se basa en cuatro valores fundamentales:

1. **Individuos e interacciones sobre procesos y herramientas:** Este principio enfatiza la importancia de las personas y su capacidad para colaborar y comunicarse efectivamente dentro del equipo. Se reconoce que la interacción directa y la colaboración promueven un entendimiento más profundo de los requisitos del proyecto y fomentan la creatividad y la innovación (Fowler & Highsmith, 2001).
2. **Software funcionando sobre documentación exhaustiva:** En lugar de enfocarse en la creación de una documentación detallada y extensa, la metodología ágil prioriza la entrega de productos de software funcionales y de alta calidad. Esta premisa reconoce que el valor real para el cliente se deriva de la capacidad del producto para satisfacer sus necesidades y expectativas (Fowler & Highsmith, 2001).

3. **Colaboración con el cliente sobre negociación contractual:** La interacción continua con el cliente es fundamental en la metodología ágil. En lugar de establecer contratos rígidos y detallados al inicio del proyecto, se fomenta la colaboración activa con el cliente a lo largo del ciclo de desarrollo para adaptarse a sus necesidades cambiantes y garantizar la entrega de valor continuo (Fowler & Highsmith, 2001).
4. **Responder al cambio sobre seguir un plan:** La metodología ágil reconoce la inevitabilidad del cambio en los proyectos y aboga por la flexibilidad y la capacidad de respuesta. En lugar de adherirse estrictamente a un plan predeterminado, los equipos ágiles están preparados para ajustar sus enfoques y prioridades en función de la retroalimentación del cliente y las condiciones del mercado (Fowler & Highsmith, 2001).

### 3.1.2 PRINCIPIOS AGILE

Aparte de los valores establecidos en el Manifiesto Agile, la metodología ágil también se rige por 12 principios fundamentales (Al-Saqqa et al., 2020) que extienden estos valores y sirven de guía para la implementación de la filosofía Agile en la práctica:

1. **Satisfacer al cliente mediante la entrega temprana y continua de software de valor:** Priorizar la entrega temprana y continua de productos funcionales para satisfacer las necesidades cambiantes del cliente.
2. **Aceptar cambios en los requisitos, incluso en etapas tardías del desarrollo:** Ser flexible y adaptarse a los cambios en los requisitos del proyecto en cualquier etapa del proceso de desarrollo.
3. **Entregar software funcional con frecuencia, preferiblemente en semanas o meses:** Realizar entregas frecuentes de software funcional para obtener retroalimentación rápida del cliente.
4. **Colaboración continua entre los equipos de desarrollo y los interesados:** Fomentar la comunicación y la colaboración activa entre todos los involucrados en el proyecto.

5. **Construir proyectos en torno a individuos motivados. Darles el entorno y el apoyo que necesitan, y confiar en que harán bien el trabajo:** Empoderar y motivar a los miembros del equipo para maximizar su rendimiento y compromiso.
6. **La forma más eficiente y efectiva de comunicar información es cara a cara:** Priorizar la comunicación directa y personal para garantizar la comprensión y claridad de los mensajes.
7. **El progreso se mide mediante software funcional:** Utilizar la entrega de software funcional como medida principal de progreso para evaluar y ajustar el curso del proyecto.
8. **Mantener un ritmo constante de desarrollo durante el proyecto:** Evitar el exceso de trabajo y mantener un ritmo sostenible de desarrollo a lo largo del proyecto.
9. **La atención continua a la excelencia técnica y al buen diseño mejora la agilidad:** Priorizar la calidad técnica y el buen diseño para garantizar la agilidad y la adaptabilidad del software.
10. **Simplicidad, o el arte de maximizar la cantidad de trabajo no hecho, es esencial:** Priorizar la simplicidad y eliminar cualquier trabajo innecesario o redundante en el proceso de desarrollo.
11. **Las mejores arquitecturas, requisitos y diseños emergen de equipos autoorganizados:** Empoderar a los equipos para tomar decisiones sobre la arquitectura, los requisitos y el diseño del software.
12. **A intervalos regulares, el equipo reflexiona sobre cómo volverse más efectivo y luego ajusta y perfecciona su comportamiento en consecuencia:** Reflexionar sobre el desempeño del equipo de manera regular y buscar formas de mejora continua en sus prácticas y procesos.

Estos principios son los pilares de una metodología que va más allá de la gestión de proyectos tradicional, resaltando la capacidad de adaptación, la colaboración de todos y la eficiencia. Permiten

a los equipos responder a cambios imprevistos, satisfacer mejor las necesidades del cliente y mejorar continuamente la calidad de sus productos y procesos.

### **3.1.3 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA AGILE**

La aplicación práctica de la metodología Agile se revela como un proceso dinámico y adaptable, donde los principios y valores descritos anteriormente se combinan para guiar la gestión efectiva de proyectos. Al integrar estos valores con los principios ágiles, las empresas pueden aprovechar al máximo las ventajas de Agile que se fundamentan en la flexibilidad, la colaboración, la entrega de valor continua, el empoderamiento del equipo y la mejora continua (Kumar & Bhatia, 2012) (Altameem, 2015), las cuales son esenciales para abordar los desafíos cambiantes y aprovechar las oportunidades en un entorno empresarial en constante evolución como el de la Industria 4.0.

- **Flexibilidad y Adaptabilidad:** La capacidad de adaptación que promueve Agile permite a las empresas responder rápidamente a los cambios en los requisitos del proyecto y en el entorno empresarial, lo que es esencial en la Industria 4.0.
- **Entrega Continua de Valor:** La entrega temprana y regular de productos funcionales asegura que las empresas proporcionen valor de manera continua a lo largo del proyecto, lo que es crucial para mantenerse competitivo en un mercado en constante cambio.
- **Colaboración y Comunicación Efectiva:** La cultura de colaboración y comunicación abierta promovida por Agile facilita la identificación y resolución rápida de problemas, así como la toma de decisiones informadas que impulsan el éxito del proyecto, especialmente en un entorno industrial complejo como el de la Industria 4.0.
- **Empoderamiento y Motivación del Equipo:** Al construir proyectos en torno a individuos motivados y empoderados, Agile fomenta un ambiente de trabajo que fomenta la creatividad, la innovación y el compromiso, lo que es crucial para enfrentar los desafíos de la Industria 4.0 con confianza y determinación.
- **Mejora Continua y Aprendizaje:** La cultura de mejora continua y aprendizaje de Agile garantiza que las empresas estén siempre buscando formas de aumentar su eficacia y eficiencia, lo que es esencial para adaptarse y prosperar en un entorno industrial en constante evolución como el de la Industria 4.0.

En el contexto de la Industria 4.0, la metodología Agile adquiere una importancia aún mayor. La capacidad de adaptación, la entrega continua de valor y la colaboración activa que promueve Agile son fundamentales para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que presenta la transformación digital en la industria. Al adoptar una mentalidad ágil, las empresas pueden mejorar su capacidad para innovar, responder rápidamente a los cambios del mercado y mantener una ventaja competitiva en un entorno empresarial en constante evolución. La metodología Agile, por lo tanto, no solo es una herramienta efectiva para la gestión de proyectos, sino que también puede ser un catalizador crucial para el éxito en la era de la Industria 4.0.

## **3.2 Principales metodologías Agile**

La metodología Agile ha marcado un cambio fundamental en la gestión de proyectos desde la publicación del Manifiesto Agile en el año 2001 (Beck et al., 2001). Desde entonces, han surgido numerosas metodologías o prácticas que se basan en los mismos principios y valores de la metodología Agile, aunque difieren en sus enfoques y técnicas específicas.

De acuerdo con Abrahamsson et al. (2017), las metodologías ágiles más utilizadas en la actualidad son: Scrum, Kanban, Extreme Programming (XP), Lean, Crystal, Dynamic Systems Development Method (DSDM), Adaptive Software Development (ASD), y Feature Driven Development (FDD).

### **3.2.1 SCRUM:**

La metodología Scrum fue definida por primera vez en 1986 por Hirotaka Takeuchi e Ikujiro Nonaka como "una estrategia de desarrollo de productos flexible y holística en la que un equipo de desarrollo trabaja como una unidad para alcanzar un objetivo común" (Sachdeva, 2016) y actualmente es uno de los marcos de trabajo ágiles más destacados y ampliamente adoptados. Fundamentalmente, se caracteriza por su enfoque en la entrega iterativa y continua de productos o proyectos, lo que resulta esencial en la gestión de proyectos moderna.

Esta metodología desafía las suposiciones del enfoque tradicional y secuencial hacia el desarrollo de productos, fomentando la autoorganización de los equipos y la colaboración estrecha entre todos los miembros del equipo (Srivastava et al., 2017). Un principio clave de Scrum es la "volatilidad de los requisitos", reconociendo la posibilidad de cambios imprevistos durante los procesos de producción, lo que resalta la necesidad de adaptación y flexibilidad inherente a la metodología ágil.

Scrum adopta un enfoque empírico, reconociendo que el problema no puede definirse completamente al inicio, por lo que se centra en responder a requisitos emergentes y adaptarse a tecnologías en evolución y cambios en las condiciones del mercado. Este enfoque se basa en la toma de decisiones en tiempo real, utilizando información actual para ajustar el curso del proyecto. Requiere equipos especializados capaces de autogestión, comunicación y toma de decisiones, lo que lo hace adecuado para proyectos con requisitos cambiantes o altamente emergentes, como los comunes en el desarrollo de software.

Lo que distingue a Scrum es su capacidad para proporcionar retroalimentación y fomentar la mejora continua. Además, proporciona transparencia en todo el proceso, lo que facilita la identificación de áreas de mejora y la optimización de resultados.

Un elemento distintivo de Scrum es la definición de tres roles específicos: el Product Owner, el Scrum Master y el Equipo de Desarrollo (Schwaber & Sutherland, 2013):

- El **Product Owner** define la visión de producto y desempeña un papel crucial en la comunicación entre el equipo y las partes interesadas, asegurando que el equipo entregue el máximo valor al negocio. Es responsable de construir y gestionar la lista de requisitos del producto, priorizando el trabajo y garantizando una comunicación clara entre el negocio y el equipo de desarrollo.
- El **Scrum Master** actúa como un facilitador y un defensor del proceso Scrum dentro del equipo. Se encarga de eliminar impedimentos, fomentar la autogestión del equipo y asegurar que se sigan las prácticas de Scrum. Su enfoque en la mejora continua y su capacidad para resolver problemas hacen que sea un recurso valioso para el equipo.
- El **Equipo de Desarrollo** es responsable de crear el producto de manera incremental durante cada Sprint. Es un grupo autoorganizado y multifuncional, con habilidades diversas que

garantizan la entrega de trabajo de alta calidad. Su enfoque en la colaboración y la cooperación asegura una entrega eficiente y continua del producto.

Además de los roles y prácticas definidas, Scrum también establece una serie de eventos y artefactos clave que estructuran el proceso de desarrollo del producto. Estos elementos son fundamentales para garantizar la transparencia, la colaboración y la entrega continua de valor durante todo el ciclo de vida del proyecto (Schwaber & Sutherland, 2013).

Los eventos de scrum son reuniones estructuradas que proporcionan oportunidades para la inspección y adaptación continua durante el desarrollo del producto. Los eventos se dividen en sprints. Un sprint es una iteración de tiempo fijo, generalmente de una duración de dos a cuatro semanas, durante la cual se desarrolla, prueba y entrega un incremento potencialmente entregable del producto. Los sprints proporcionan una estructura de tiempo predecible que permite al equipo de desarrollo enfocarse en un conjunto de objetivos claros y alcanzables, lo que facilita la entrega continua de valor al cliente.

- **Planificación de Sprint (Sprint Planning):** Este evento marca el inicio de cada iteración (sprint). Durante la reunión de planificación del sprint, el equipo selecciona los elementos del backlog del producto que se comprometerán a completar durante el sprint. Se establece el objetivo del sprint y se crea el plan para alcanzarlo.
- **Revisión del Sprint (Sprint Review):** Al final de cada sprint, el equipo presenta el trabajo completado al Product Owner y a otros interesados. Durante esta reunión, se inspecciona el incremento del producto y se recopila el feedback para futuras iteraciones. Se revisan y ajustan los objetivos y prioridades del backlog del producto según sea necesario.
- **La Retrospectiva del Sprint (Sprint Retrospective):** Después de la revisión del sprint, el equipo realiza una retrospectiva para evaluar su desempeño y identificar oportunidades de mejora. Se discuten los aspectos que funcionaron bien, así como los que podrían mejorarse, y se establecen acciones concretas para implementar en el próximo sprint.
- **Scrum Diario (Daily Scrum):** Esta reunión corta y diaria proporciona al equipo la oportunidad de sincronizarse, compartir actualizaciones sobre el progreso del trabajo y identificar cualquier impedimento que pueda surgir. Cada miembro del equipo responde a

tres preguntas básicas: ¿Qué hice desde la última reunión diaria? ¿Qué voy a hacer antes de la próxima reunión diaria? ¿Qué obstáculos enfrento?

Por otro lado, los artefactos de Scrum son herramientas que ayudan a gestionar y comunicar el trabajo del equipo durante el desarrollo del producto, entre los que destacan:

- **Backlog del Producto (Product Backlog):** El backlog del producto es una lista dinámica de todos los requisitos, características y mejoras pendientes para el producto. Cada elemento del backlog tiene una descripción, una prioridad y una estimación de esfuerzo asociada. El Product Owner es responsable de mantener y priorizar el backlog del producto en función del valor para el negocio y los comentarios del cliente.
- **Plan de Liberación (Release Plan):** El plan de liberación describe los objetivos, prioridades y características principales de una versión del producto que se entregará en un plazo determinado. Proporciona una visión general del alcance y la fecha de entrega esperada, así como una evaluación de los riesgos asociados.
- **Backlog del Sprint (Sprint Backlog):** El backlog del sprint es una lista de todas las tareas específicas que el equipo se compromete a completar durante el sprint. Estas tareas se derivan del backlog del producto y se estiman en función de la capacidad del equipo. El backlog del sprint es propiedad del equipo y se actualiza continuamente durante el sprint.
- **Gráficos de Burn-down (Burn-down Charts):** Estos gráficos proporcionan una representación visual del progreso del trabajo durante el sprint y el lanzamiento. El gráfico de burn-down del sprint muestra la cantidad de trabajo restante en el backlog del sprint a lo largo del tiempo, mientras que el gráfico de burn-down del lanzamiento muestra la cantidad de trabajo restante en el backlog del producto a lo largo del tiempo.

En conjunto, estos eventos y artefactos proporcionan la estructura necesaria para gestionar eficazmente el proceso de desarrollo del producto, garantizando la transparencia, la adaptabilidad y la entrega continua de valor a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Scrum, con su enfoque en la adaptabilidad, la transparencia y la mejora continua, se ha convertido en una herramienta invaluable para el desarrollo de productos en un entorno empresarial ágil y cambiante. Al centrarse en la entrega de valor y en la autogestión de los equipos, Scrum proporciona

un marco sólido para la gestión efectiva de proyectos en diversos contextos. Sin embargo, su éxito depende en gran medida de la comprensión y la adopción adecuada de sus principios y prácticas por parte de todos los involucrados en el proyecto.

### **3.2.2 KANBAN:**

La metodología Kanban desempeña un papel importante en numerosas unidades de producción. Originada en Japón, específicamente en la compañía Toyota en 1962, Kanban ha sido adoptada por muchas organizaciones en todo el mundo como un enfoque efectivo para gestionar la producción y mejorar la eficiencia (Japan Management Association, 2018).

Kanban, es un sistema de programación de trabajo que se basa en el principio “Just in Time” (JIT). Cuando se combina con un sistema de tipo “pull”, Kanban permite implementar JIT de manera efectiva. El enfoque de Kanban se centra en maximizar la productividad de un equipo al reducir el tiempo improductivo y eliminar el desperdicio en todas sus formas, como la sobreproducción, el exceso de movimiento, los defectos, el procesamiento innecesario y la espera. A diferencia de otras metodologías Agile como Scrum, Kanban no establece roles predefinidos.

Los principios fundamentales del sistema Kanban son la visualización del trabajo, la limitación del trabajo en proceso, el enfoque en el flujo y la mejora continua (Wakode et al., 2015). La visualización del trabajo se lleva a cabo mediante la representación visual de todas las tareas en los denominados tableros Kanban, lo que permite a los equipos comprender rápidamente el estado del trabajo, identificar cuellos de botella y tomar decisiones informadas. La limitación del trabajo en proceso garantiza que se aborden las tareas existentes antes de agregar nuevas, evitando así la sobrecarga y promoviendo un flujo constante. El enfoque en el flujo se refiere a optimizar la secuencia y el ritmo de trabajo para minimizar los cuellos de botella y maximizar la eficiencia. Y la mejora continua implica revisar constantemente el proceso y buscar formas de hacerlo más eficiente.

El sistema Kanban es altamente adaptable y puede implementarse de diversas formas según las necesidades específicas de la organización. De acuerdo con el análisis de M. Ahmad, J. Markkula y M. Oivo (2013), algunos de los beneficios de la implementación de Kanban incluyen:

- **Mejor comprensión de todo el proceso:** Kanban facilita una visión más clara y completa del trabajo en equipo, lo que ayuda a entender mejor el proceso global de desarrollo.
- **Mejora de la calidad del software:** Se reporta una mejora en la calidad del software entregado cuando se utiliza Kanban, posiblemente debido a la capacidad de visualizar el progreso y gestionar los flujos de trabajo de manera más efectiva.
- **Satisfacción del cliente y cumplimiento de sus necesidades:** Kanban permite una mayor adaptabilidad a las necesidades cambiantes del cliente, lo que resulta en una entrega más ágil, mayor satisfacción del cliente y una mejor alineación con sus requisitos.
- **Mejora de la comunicación y coordinación entre las partes interesadas y dentro del equipo:** Kanban proporciona una plataforma visual que facilita la comunicación y colaboración entre los miembros del equipo y otras partes interesadas.
- **Resolución más rápida de problemas y errores:** La visualización clara del flujo de trabajo en Kanban permite una detección y resolución más rápida de errores y problemas, lo que conduce a una mayor eficiencia en el desarrollo de software. Además, facilita la retroalimentación temprana sobre las características desarrolladas, lo que ayuda a evitar retrasos en la identificación de problemas o desviaciones con respecto a los requisitos.
- **Aumento de la productividad:** Kanban ayuda a reducir el tiempo de entrega y aumentar la frecuencia de lanzamiento al optimizar los flujos de trabajo y minimizar el trabajo en progreso.
- **Mejora en la eficiencia:** Kanban proporciona un marco que permite un control más eficaz del progreso del proyecto y la asignación de recursos.

En conclusión, Kanban es una metodología con el potencial de transformar la forma en que se gestionan los procesos de producción. Al enfocarse en la visualización del trabajo, la limitación del trabajo en proceso y la mejora continua, Kanban ayuda a las organizaciones a optimizar la eficiencia, reducir el desperdicio y ofrecer productos de alta calidad de manera constante y oportuna.

### **3.2.3 EXTREME PROGRAMMING (XP):**

La metodología eXtreme Programming (XP) es un enfoque ágil para el desarrollo de software que se centra en potenciar las relaciones interpersonales como clave para el éxito del proyecto. XP

---

promueve el trabajo en equipo, el aprendizaje continuo de los desarrolladores y un clima de trabajo positivo. Se basa en la realimentación continua entre el cliente y el equipo de desarrollo, la comunicación fluida entre todos los participantes, la simplicidad en las soluciones implementadas y el coraje para enfrentar los cambios. Es especialmente adecuada para proyectos con requisitos imprecisos y cambiantes, así como para aquellos con un alto riesgo técnico.

En la metodología XP, las historias de usuario son la técnica utilizada para especificar los requisitos del software. Estas historias, descritas en tarjetas de papel por el cliente, pueden modificarse y adaptarse en cualquier momento durante el proceso de desarrollo. Cada historia de usuario debe ser comprensible y delimitada para que los programadores puedan implementarla en unas semanas. La descomposición de estas historias en tareas de programación permite asignarlas a los programadores para su implementación durante una iteración.

Los roles en XP son definidos según la propuesta original de Kent Beck (Letelier & Penadés, 2012). Estos roles incluyen al programador, responsable de escribir las pruebas unitarias y producir el código del sistema; al cliente, encargado de escribir las historias de usuario y validar su implementación; al encargado de pruebas, responsable de ayudar al cliente a escribir las pruebas funcionales y ejecutarlas regularmente; al encargado de seguimiento, responsable de proporcionar realimentación al equipo en el proceso XP y verificar el progreso de cada iteración; al entrenador, responsable del proceso global y de guiar al equipo en la aplicación de las prácticas XP; al consultor, miembro externo del equipo con conocimiento específico para resolver problemas; y al gestor, responsable de coordinar el trabajo entre clientes y programadores.

El proceso en XP se caracteriza por ciclos de desarrollo cortos y repetitivos. Este proceso incluye fases como la exploración, la planificación de la entrega, las iteraciones, la producción, el mantenimiento y la finalización del proyecto. Durante cada iteración, el cliente y el equipo de desarrollo aprenden y se adaptan, seleccionando el valor de negocio a implementar y ajustando el plan según sea necesario.

Las prácticas en XP se basan en principios como el juego de la planificación, las entregas pequeñas, la utilización de una metáfora compartida para definir el sistema, el diseño simple, las pruebas unitarias, la refactorización constante del código, la programación en parejas, la propiedad colectiva

del código, la integración continua, el límite de 40 horas de trabajo por semana, la presencia del cliente en el equipo y los estándares de programación. Estas prácticas se refuerzan entre sí para promover la comunicación, la colaboración y la calidad del código en el equipo de desarrollo (Dudziak, 2000).

En conclusión, XP es una metodología ágil que enfatiza la colaboración, la comunicación y la adaptabilidad en el desarrollo de software. Una de sus características más destacadas es la colaboración estrecha entre desarrolladores y clientes, para favorecer una adaptación más rápida a los cambios frecuentes de los requerimientos. Sus prácticas y principios se centran en maximizar el valor para el cliente, reducir el riesgo técnico y promover la calidad del producto final. Sin embargo, su éxito depende de la capacidad del equipo para aplicar las prácticas de manera disciplinada y adaptarse a los cambios en el proceso de desarrollo.

### **3.2.4 LEAN:**

La metodología Lean, originada en el ámbito de la producción industrial, se ha convertido en un enfoque ampliamente adoptado en diversos sectores debido a su capacidad para mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio y aumentar la calidad (Alkhoraif et al., 2019). Por ejemplo, la filosofía Lean se ha aplicado en:

- **Manufactura:** Optimización de la producción para reducir tiempos de ciclo, costos y desperdicios.
- **Servicios:** Mejora de la eficiencia y la calidad en la prestación de servicios, eliminando actividades innecesarias y simplificando procesos.
- **Salud:** Reducción de tiempos de espera, mejora de la calidad de la atención y optimización de los flujos de trabajo en entornos médicos y hospitalarios.
- **Educación:** Aplicación de principios Lean para mejorar los procesos educativos, optimizando la enseñanza y maximizando el aprendizaje del estudiante.
- **Gestión de Proyectos:** Implementación de prácticas Lean para reducir el tiempo de entrega, minimizar los costos y maximizar el valor en proyectos de cualquier naturaleza.

Aunque Lean y Agile han evolucionado como enfoques separados, comparten valores y principios fundamentales (Cruz & Alves, 2020), y por ello se ha incluido en este trabajo como una metodología ágil. Ambos enfatizan la entrega rápida, la adaptabilidad al cambio y la mejora continua. Por lo tanto, es natural que exista una convergencia entre Lean y las metodologías ágiles. La combinación de Lean y Agile permite a las organizaciones aprovechar los principios Lean para optimizar los procesos mientras mantienen la flexibilidad y la capacidad de respuesta de Agile.

Los principios fundamentales de Lean, como se definen en el modelo Toyota Production System (TPS), se centran en la identificación y eliminación de desperdicios, la optimización del flujo de trabajo y la búsqueda continua de la perfección (Womack & Jones, 1997). Estos principios pueden resumirse en los siguientes.

1. **Valor:** Identificar y proporcionar valor al cliente es fundamental en Lean. Esto implica comprender las necesidades del cliente y enfocarse en la entrega de productos o servicios que realmente agreguen valor desde la perspectiva del cliente.
2. **Flujo de Valor:** Optimizar el flujo de valor implica identificar y eliminar actividades que no agregan valor al producto o servicio final. Esto se logra al mapear y analizar el flujo de trabajo para identificar cuellos de botella, redundancias y actividades innecesarias.
3. **Flujo:** La optimización del flujo implica garantizar que el trabajo fluya de manera constante a través del proceso, evitando interrupciones y retrasos. Esto se logra mediante la implementación de sistemas pull y la limitación del trabajo en progreso para mantener un flujo de trabajo constante y equilibrado.
4. **Producción a Pedido (Pull):** Adoptar un enfoque pull implica producir o proporcionar productos o servicios solo cuando son solicitados por el cliente. Esto ayuda a minimizar el inventario y a garantizar que el trabajo se realice en respuesta a la demanda real del cliente.
5. **Perfección:** La búsqueda continua de la perfección implica un compromiso constante con la mejora continua en todos los aspectos del proceso. Esto se logra al fomentar una cultura de aprendizaje y mejora, donde se alienta a los empleados a identificar y resolver problemas de manera proactiva.

En resumen, la metodología Lean representa un enfoque versátil que se centra en maximizar el valor para el cliente mediante la optimización de procesos para eliminar desperdicios que no contribuyen a este fin. A través de la identificación y eliminación de actividades que no agregan valor, la simplificación de flujos de trabajo y la búsqueda continua de la mejora, Lean busca reducir los tiempos de ciclo, los costos y los errores, al tiempo que aumenta la calidad, la eficiencia y la satisfacción del cliente. En última instancia, la aplicación exitosa de Lean puede conducir a una mayor eficiencia operativa, una mayor calidad del producto o servicio, una mayor satisfacción del cliente y una mayor competitividad en el mercado.

### **3.2.5 CRYSTAL:**

Las metodologías Crystal son un conjunto de enfoques ágiles para el desarrollo de software que se centran en adaptar el proceso de desarrollo a las características específicas de cada proyecto. Basadas en los principios del Manifiesto Ágil, las metodologías Crystal reconocen que no existe una sola metodología universal que se ajuste a todos los proyectos, sino que se debe adaptar el proceso según el tamaño del equipo, la criticidad del proyecto, la distribución geográfica de los miembros del equipo y otros factores contextuales (Anwer et al., 2017).

Una de las principales características de las metodologías Crystal es su enfoque en la gente y las interacciones humanas como clave para el éxito del proyecto. Estas metodologías reconocen que el éxito del proyecto depende en gran medida de la comunicación efectiva entre los miembros del equipo y de la colaboración para superar los desafíos que puedan surgir durante el desarrollo del software.

Otro aspecto fundamental de las metodologías Crystal es su énfasis en la simplicidad y la flexibilidad. En lugar de imponer procesos y prácticas rígidas, las metodologías Crystal promueven la adopción de procesos ligeros y flexibles que se puedan adaptar fácilmente a medida que evoluciona el proyecto. Esto permite a los equipos de desarrollo responder de manera rápida y efectiva a los cambios en los requisitos del cliente y en el entorno del proyecto.

Las metodologías Crystal se dividen en diferentes variantes, cada una diseñada para proyectos con características específicas (Cockburn, 2006). Por ejemplo, Crystal Clear es una metodología

diseñada para equipos pequeños (de hasta 6 personas) que trabajan en proyectos no críticos, mientras que Crystal Orange está dirigida a equipos medianos (de hasta 20 personas) que trabajan en proyectos más complejos y críticos. Cada variante de Crystal proporciona un conjunto de principios, prácticas y roles específicos que se adaptan a las necesidades del proyecto.

Además, las metodologías Crystal promueven la transparencia y la retroalimentación continua como parte integral del proceso de desarrollo. Esto significa que los miembros del equipo deben compartir información de manera abierta y honesta, y estar dispuestos a aprender de los errores y mejorar constantemente el proceso de desarrollo.

### **3.2.6 DYNAMIC SYSTEMS DEVELOPMENT METHOD (DSDM):**

La metodología de Desarrollo Dinámico de Sistemas (DSDM, por sus siglas en inglés) es un enfoque ágil para el desarrollo de software que se caracteriza por su naturaleza iterativa e incremental, centrándose en la entrega rápida y la participación activa del usuario a lo largo de todo el proyecto. Su objetivo principal es desarrollar sistemas de manera dinámica, permitiendo la adaptación continua a medida que evolucionan los requisitos del usuario y las condiciones del entorno. DSDM se considera particularmente adecuado para proyectos en los que los requisitos no están completamente definidos desde el principio y pueden cambiar con el tiempo (Zafar et al., 2017).

Una de las características distintivas de DSDM es su enfoque en la colaboración y la participación activa del usuario en todas las etapas del desarrollo del proyecto. Esto se refleja en la inclusión de representantes del usuario en el equipo de desarrollo y en la realización de iteraciones frecuentes para obtener retroalimentación temprana y continua sobre el progreso del proyecto. Esta colaboración cercana entre el equipo de desarrollo y los usuarios finales ayuda a garantizar que el producto final cumpla con las expectativas y necesidades del cliente.

La metodología DSDM se compone de siete fases distintas: Pre-Proyecto, Estudio de Viabilidad, Estudio de Negocios, Iteración del Modelo Funcional, Iteración de Diseño y Construcción, Implementación y Post-Proyecto. Cada fase tiene sus propios objetivos y actividades específicas, diseñadas para guiar el desarrollo del proyecto de manera efectiva y eficiente (Voigt et al., 2004).

En cuanto a la gestión del alcance del proyecto, DSDM se ha demostrado efectivo para manejar los cambios en los requisitos del usuario a lo largo del tiempo, evitando así la "ampliación del alcance" que puede ocurrir en proyectos donde los requisitos son volátiles. Esto se logra mediante un enfoque flexible que permite ajustes en el alcance del proyecto según sea necesario para cumplir con los objetivos del cliente.

En lo que respecta a la gestión del tiempo y el costo del proyecto, DSDM ha demostrado ser una metodología efectiva para mantener los proyectos dentro del presupuesto y el cronograma acordados. Al adoptar un enfoque iterativo e incremental, DSDM permite que los equipos realicen ajustes en función de la disponibilidad de recursos y la complejidad de las tareas, lo que contribuye a una mayor previsibilidad y control en la planificación y ejecución del proyecto. La organización del equipo y el tamaño se adaptan a las necesidades del proyecto, con énfasis en mantener equipos pequeños y estables.

En cuanto a la gestión de la calidad del proyecto, DSDM se centra en la entrega de un producto final que cumpla con los estándares de calidad acordados con el cliente. Al priorizar la satisfacción del cliente y enfocarse en las necesidades del negocio, DSDM ayuda a garantizar que el producto final sea "adecuado para su uso" y cumpla con los requisitos funcionales y no funcionales establecidos desde el principio.

En resumen, la metodología DSDM es un enfoque ágil que se centra en la entrega rápida, la participación activa del usuario y la adaptabilidad continua a medida que evolucionan los requisitos del proyecto. Su enfoque en la colaboración, la flexibilidad y la entrega incremental lo convierten en una opción atractiva para proyectos de desarrollo de software en los que los requisitos son volátiles y cambiantes.

### **3.2.7 ADAPTIVE SOFTWARE DEVELOPMENT (ASD):**

El Desarrollo de Software Adaptativo (ASD) es una metodología ágil propuesta por James A. Highsmith en el año 2000 como una alternativa dinámica al ciclo de vida estático tradicional de planificación, diseño y construcción de software. A diferencia de los enfoques tradicionales, ASD se centra en tres fases principales: especular, colaborar y aprender. En la fase de especular, se discute

y define lo que se va a hacer en cada iteración del proceso de desarrollo. La fase de colaborar implica el desarrollo concurrente de varios componentes en colaboración con los clientes y otros interesados. Finalmente, en la fase de aprender, se revisa el trabajo realizado, se capturan las lecciones aprendidas y se ajusta el enfoque para futuras iteraciones.

ASD se basa en el principio ágil de adaptabilidad, lo que significa que está diseñado para manejar cambios rápidos y frecuentes en los requisitos del proyecto y en el entorno. Esto se logra mediante la adopción de prácticas como el desarrollo basado en componentes, la colaboración continua entre el equipo de desarrollo y los interesados, y la entrega de software funcional en ciclos cortos y frecuentes. Además, ASD fomenta la retroalimentación temprana y frecuente del cliente para garantizar que el producto final cumpla con sus expectativas y necesidades.

Una característica distintiva de ASD es su enfoque en la especulación activa, donde se promueve la exploración y la experimentación para encontrar las mejores soluciones posibles. Esto se logra a través de reuniones y sesiones de colaboración donde se discuten y evalúan diferentes enfoques y alternativas. En cuanto a la construcción de software, ASD fomenta la práctica de “Programación en Pareja” y “Propiedad Colectiva del Código” para un desarrollo colaborativo en ingeniería de componentes concurrentes.

Desde el punto de vista de la gestión del proyecto, ASD promueve la transparencia, la colaboración y la autoorganización del equipo. Los roles y responsabilidades son flexibles y se adaptan según las necesidades del proyecto. Además, ASD reconoce la importancia de aprender de la experiencia y de mejorar continuamente el proceso de desarrollo.

A. Chowdhury y M. Huda (2011) proporcionan una perspectiva más detallada sobre cómo se implementa ASD en la práctica y cómo se compara con otras metodologías ágiles como FDD. Según explican, mientras que algunas metodologías ágiles pueden enfocarse en la entrega rápida de características específicas, ASD se centra en la capacidad de adaptarse a cambios rápidos y frecuentes en los requisitos del proyecto y en el entorno.

De acuerdo con sus conclusiones, ASD se considera particularmente adecuado para proyectos complejos y grandes debido a su enfoque en la especulación activa y la entrega incremental. En

entornos donde los requisitos son cambiantes o poco claros, ASD permite a los equipos de desarrollo explorar diferentes enfoques y experimentar con soluciones potenciales antes de comprometerse con una dirección específica. Además, la colaboración continua entre el equipo de desarrollo y los interesados garantiza que el producto final satisfaga las necesidades y expectativas del cliente.

Sin embargo, aunque ASD ofrece muchas ventajas, puede no ser adecuado en todos los contextos. Por ejemplo, en proyectos donde los requisitos son estables y bien definidos desde el principio, puede que no sea necesario un enfoque tan adaptable. Además, ASD requiere un alto nivel de compromiso y colaboración por parte del equipo, así como una cultura organizacional que valore la experimentación y el aprendizaje continuo. En entornos donde la resistencia al cambio es alta o donde los equipos carecen de experiencia en metodologías ágiles, ASD puede encontrar dificultades para ser implementado con éxito.

### **3.2.8 FEATURE DRIVEN DEVELOPMENT (FDD):**

Feature Driven Development (FDD) es una metodología ágil que se centra en la entrega de características específicas del software de manera incremental y estructurada. Fue desarrollada por Jeff De Luc y Peter Coad en el año 1997 como respuesta a la necesidad de gestionar proyectos de desarrollo de software complejos y grandes de manera eficiente. A diferencia de otros enfoques ágiles, FDD pone un fuerte énfasis en la planificación y el diseño inicial, destacando las características del software como el principal impulsor de todo el proceso de desarrollo (Palmer & Felsing, 2001).

El ciclo de vida de desarrollo en FDD consta de cinco fases: desarrollo del modelo global, construcción de la lista de características, planificación por características, diseño por características y construcción por características (Shama & Shivamant, 2015).

La primera fase del proceso FDD implica la construcción de un modelo detallado del sistema que captura todas las suposiciones y requisitos de los interesados. Una vez construido el modelo de dominio, se imprime una lista de las características del sistema, cada una de las cuales debe desarrollarse en unas pocas horas o días, pero nunca más de dos semanas. La planificación por características implica la asignación de equipos de desarrollo a cada característica y la estimación

de tiempos y recursos necesarios para su implementación. En la fase de diseño por características, se elaboran diseños detallados para cada característica, centrándose en los aspectos técnicos.

Finalmente, en la fase de construcción por características, se implementa y prueba cada característica de manera individual antes de integrarla con el resto del sistema. El desarrollo de características se realiza en paralelo, con cada equipo encabezado por un propietario de característica responsable del segmento de código que implementa esas características. Esto contrasta con otras metodologías como XP o ASD, donde la propiedad del código pertenece a todo el equipo de desarrollo y no a un miembro específico.

El proceso de FDD impone pautas rigurosas para encontrar defectos en el sistema, haciendo cumplir estándares de codificación y fomentando compilaciones regulares diarias o semanales para agregar características recién diseñadas al sistema base. Dado que las características se desarrollan en paralelo, es obligatorio contar con un sistema de gestión de configuración que permita la integración tranquila de los cambios realizados en el sistema. Además, FDD utiliza un mecanismo de seguimiento y documentación para mostrar el estado del proyecto basado en el número de características implementadas, así como en el progreso general de las actividades de diseño, codificación y prueba. Cada característica se puntúa utilizando un valor que varía entre 0 y 1, y cualquier valor intermedio se refiere a una característica en progreso.

En conclusión, FDD se distingue por su enfoque estructurado y orientado a características, lo que lo hace especialmente adecuado para proyectos grandes y complejos donde la modularidad y la escalabilidad son fundamentales. Al dividir el trabajo en características específicas y asignar equipos dedicados a su desarrollo, FDD permite una mayor eficiencia y control sobre el proceso de desarrollo.

Sin embargo, FDD puede no ser la mejor opción en entornos donde los requisitos del proyecto son altamente volátiles o poco claros, ya que requiere una planificación detallada y una definición clara de las características del sistema desde el principio. Además, la estructura rígida de FDD puede no ser adecuada para proyectos de adopción de nuevas tecnologías donde la flexibilidad y la experimentación son prioritarias.

### **3.3 Comparativa de Enfoques Agile**

Tras analizar en profundidad cada una de las metodologías ágiles más destacadas, es fundamental presentar una visión comparativa que permita identificar sus características principales de manera resumida y clara. A continuación, se ofrece una tabla comparativa que sintetiza las metodologías Scrum, Kanban, Extreme Programming (XP), Lean, Crystal, Dynamic Systems Development Method (DSDM), Adaptive Software Development (ASD) y Feature Driven Development (FDD).

El objetivo de esta tabla comparativa es reunir algunos de los aspectos clave de cada metodología como su definición, los principios del manifiesto Agile con los que se alinean, sus limitaciones y ventajas. Por ello, la Tabla 1 se presenta como una herramienta útil para entender las diferencias y similitudes entre estas metodologías, facilitando a los profesionales la selección de la más adecuada según las necesidades y el contexto de un proyecto específico.

Marco	Descripción	Principios del Manifiesto Agile	Limitaciones	Ventajas
Scrum	Marco de trabajo ágil centrado en la entrega iterativa y continua de productos o proyectos, con enfoque empírico y adaptabilidad a requisitos cambiantes	Comunicación continua, colaboración con el cliente, entrega frecuente, respuesta al cambio	Dependencia de la correcta implementación de roles y eventos; puede ser difícil de adoptar sin experiencia previa	Transparencia, mejora continua, autoorganización del equipo, alta adaptabilidad a cambios
Kanban	Sistema de programación visual para gestionar el trabajo con enfoque en la mejora continua, flujo constante y limitación del trabajo en proceso	Transparencia, mejora continua, entrega frecuente, adaptabilidad	Falta de estructura definida en roles y fases; puede ser menos efectivo sin un equipo disciplinado	Mejora de la eficiencia, reducción de desperdicios, adaptación fácil y rápida a cambios
XP	Metodología ágil centrada en potenciar las relaciones interpersonales, la comunicación fluida y la adaptabilidad continua a los cambios de requisitos	Alta calidad técnica, respuesta al cambio, colaboración continua, enfoque en individuos y su interacción	Requiere un alto nivel de disciplina y compromiso del equipo; puede ser difícil de implementar sin un buen entendimiento de las prácticas XP	Mejora de la calidad del código, colaboración estrecha con el cliente, adaptabilidad alta
Lean	Enfoque centrado en maximizar el valor para el cliente mediante la optimización de procesos y la eliminación de desperdicios	Valor para el cliente, entrega rápida y frecuente, mejora continua	Difícil de implementar sin un cambio cultural significativo de toda la organización; puede ser difícil de implementar en entornos con alta variabilidad de requisitos	Reducción de costos y tiempos de ciclo, aumento de la calidad y la satisfacción del cliente, mejora continua
Crystal	Una familia de metodologías que se adapta según el tamaño del equipo y la criticidad del proyecto	Adaptabilidad, interacción y colaboración, entrega frecuente, simplicidad	Falta de directrices específicas puede ser confusa, depende mucho del contexto del proyecto	Flexibilidad, adaptabilidad según el proyecto, enfoque en las personas
DSDM	Un enfoque ágil que proporciona una estructura robusta basada en principios claramente definidos y controlados	Entrega frecuente, colaboración con el cliente, respuesta al cambio, calidad	Puede ser percibido como restrictivo, requiere formación específica	Estructura clara, enfoque en la entrega dentro de los plazos y presupuestos
ASD	Un enfoque que enfatiza la adaptación continua del proceso de desarrollo en función de la retroalimentación del cliente	Colaboración continua, adaptabilidad, mejora continua, entrega frecuente	Puede ser percibido como poco estructurado, depende de la madurez del equipo	Alta adaptabilidad, enfoque en el aprendizaje y la mejora continua
FDD	Un proceso iterativo y centrado en el cliente, enfocado en el desarrollo de características específicas del producto	Desarrollo incremental, colaboración con el cliente, calidad, respuesta al cambio	Puede ser complejo de implementar en proyectos pequeños, depende de una buena definición inicial del modelo de dominio	Enfoque en características específicas, mejora continua basada en métricas

*Tabla 1. Tabla comparativa de metodologías ágiles [Elaboración propia]*

## **4 INTEGRACIÓN DE AGILE EN LA INDUSTRIA 4.0**

La transformación digital de la industria, conocida como Industria 4.0, representa un cambio significativo en la forma en que las empresas operan y compiten en el mercado global. En España, la adopción de la Industria 4.0 ha avanzado considerablemente, pero todavía enfrenta barreras importantes.

Anteriormente, en el análisis de la evolución de la Industria 4.0 en España se identificaron las tres mayores barreras en la transformación a la Industria 4.0:

1. Las dudas sobre los beneficios de las inversiones
2. La resistencia a la innovación y al cambio
3. La falta de modelos tipo sobre los que trabajar

En esta sección, se realizará una propuesta en la que se justificará cómo la metodología Agile puede contribuir a mitigar cada una de estas barreras. Y, por ende, cumpliendo con el objetivo principal de este trabajo de examinar cómo la implementación de las metodologías ágiles puede potenciar y optimizar la integración de tecnologías 4.0 como: IA y ML, Robots Autónomos, RPA e Hiperautomatización, Fabricación aditiva, VR y AR, y Digital Twin.

Finalmente, en el último apartado de esta propuesta se establecerá un vínculo entre estos paradigmas y la metodología Agile, y se propondrá un plan de acción detallado que permita a las empresas implementar Agile de manera efectiva para aprovecharse de las ventajas que proporcionan las metodologías ágiles, superar los principales desafíos que plantea la transición a la Industria 4.0 e implantar con éxito los paradigmas en los que se centra este trabajo.

### **4.1 Solución a la falta de modelos tipo**

Una de las principales barreras que enfrentan las empresas en su transformación hacia la Industria 4.0 es la falta de modelos tipo establecidos. Muchas empresas se encuentran desorientadas al no contar con ejemplos claros y modelos probados que guíen su transición. Esta carencia dificulta la

adopción efectiva de nuevas tecnologías y metodologías, ralentizando el proceso de transformación y limitando el potencial de las organizaciones para mantenerse competitivas en un mercado en constante evolución.

Para abordar esta problemática, en este apartado se recopilan y analizan casos reales de empresas que han implementado metodologías ágiles en diversos sectores industriales. Cada caso proporciona una visión detallada de cómo se ha aplicado una metodología ágil específica, los desafíos enfrentados y los resultados obtenidos. A través del estudio de estos ejemplos, se busca identificar patrones y prácticas comunes que puedan servir de referencia para otras empresas en su camino hacia la Industria 4.0. La finalidad es ofrecer una guía práctica basada en experiencias reales, que facilite la toma de decisiones y la implementación de estrategias ágiles en distintos contextos industriales.

Finalmente, se presentará una tabla que sintetiza la información recopilada, mostrando las metodologías ágiles utilizadas, los casos de éxito documentados y los tipos de proyectos para los que cada metodología ha resultado más adecuada. Esta tabla pretende ser una herramienta útil para las empresas, proporcionando un punto de partida sobre el cual trabajar y adaptarse a sus propias necesidades y circunstancias. Al ofrecer un modelo más claro y estructurado, se espera que las empresas puedan superar la barrera de la falta de modelos tipo y avanzar con mayor confianza y efectividad hacia la Industria 4.0.

### **4.1.1 TOYOTA**

Toyota, conocida por su enfoque innovador en la manufactura, ha adoptado el "Toyota Way", que integra principios ágiles para mejorar su capacidad de respuesta y eficiencia. Este enfoque se basa en dos pilares fundamentales: la mejora continua (**Kaizen**) y el respeto por las personas. El Just-In-Time (JIT) y Kanban son metodologías clave dentro de este sistema (Japan Management Association, 2018). JIT se centra en la producción y entrega de productos solo cuando son necesarios, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia. **Kanban**, por su parte, utiliza señales visuales para gestionar el flujo de trabajo y asegurar que las tareas se completen en el momento adecuado.

La implementación de estas metodologías ha permitido a Toyota reducir significativamente los tiempos de ciclo y aumentar su capacidad de respuesta a las demandas fluctuantes del mercado automovilístico. La mejora continua ha llevado a una cultura de constante optimización y aprendizaje dentro de la organización. Además, el respeto por las personas ha fomentado un ambiente de trabajo colaborativo, donde los empleados tienen la autonomía para sugerir y implementar mejoras (Vanichchinchai, 2022).

Los beneficios de adoptar estos principios ágiles incluyen una mayor eficiencia operativa, reducción de inventarios y tiempos de espera, así como mejoras en la calidad del producto. Toyota ha logrado mantener una posición de liderazgo en la industria automotriz gracias a su capacidad para adaptarse rápidamente a los cambios del mercado y mantener altos estándares de calidad. Este caso demuestra cómo la integración de metodologías ágiles puede transformar una organización y ofrecer ventajas competitivas sustanciales.

#### **4.1.2 IBM**

El artículo "Agile at IBM: software developers teach a new dance step to management" de Robert M. Randall (2014) presenta cómo IBM implementa metodologías ágiles, principalmente **Scrum** y **Extreme Programming (XP)**, y cómo esta adopción ha conducido a una transformación significativa en sus procesos de desarrollo de software y en la mentalidad gerencial. El artículo destaca la importancia de estas metodologías para promover la innovación continua y mejorar el valor entregado a los clientes.

En IBM, Scrum se aplica principalmente en proyectos de desarrollo de software para asegurar entregas regulares y de alta calidad. Los equipos de desarrollo organizan reuniones diarias (daily stand-ups) para revisar el progreso y planificar el trabajo del día, lo que ayuda a mantener a todos alineados y enfocados en los objetivos del sprint. Además, las revisiones al final de cada sprint permiten evaluar el trabajo completado y recoger comentarios que se integran en el siguiente ciclo, fomentando una mejora continua y adaptabilidad a los cambios de las necesidades del cliente.

Por otro lado, IBM utiliza prácticas de Extreme Programming (XP) como programación en pares y desarrollo guiado por pruebas (TDD) para fomentar una cultura de calidad y colaboración intensa entre los desarrolladores.

La adopción de Agile en IBM enfrentó desafíos, principalmente la resistencia inicial de la gerencia acostumbrada a estructuras jerárquicas tradicionales. Sin embargo, el enfoque desde abajo hacia arriba, impulsado por los desarrolladores, eventualmente convenció a la gerencia de los beneficios de Agile. Las estrategias clave incluyeron centrarse en cambios pequeños e incrementales y demostrar beneficios rápidos para ganar un apoyo más amplio.

Este enfoque permitió a la organización implementar cambios pequeños e incrementales, ganando apoyo a través de resultados rápidos y tangibles. La demostración de mejoras en la productividad, tiempos de entrega más rápidos y una mejor alineación con las necesidades de los clientes ayudó a superar la resistencia inicial y a integrar las metodologías ágiles en la cultura organizacional de IBM.

El artículo incluye ejemplos prácticos de la implementación de Agile en IBM, como proyectos específicos donde Scrum y XP llevaron a mejoras significativas en la velocidad de entrega y la calidad del producto. Estos ejemplos ilustran cómo los principios ágiles, cuando se aplican correctamente, pueden transformar el enfoque de una organización hacia la gestión de proyectos y el desarrollo de productos.

En conclusión, la experiencia de IBM con Scrum y XP resalta la importancia de la flexibilidad, la mejora continua y un enfoque centrado en el cliente. Al superar la resistencia inicial y demostrar los beneficios prácticos de Agile, IBM ha establecido un precedente para otras empresas que buscan adoptar metodologías ágiles. La implementación exitosa de estas metodologías ha permitido a IBM mantenerse competitiva en un mercado en constante cambio, entregando productos y servicios de alta calidad que responden a las necesidades de sus clientes.

### **4.1.3 MICROSOFT**

Microsoft, una de las empresas líderes en tecnología a nivel mundial, ha adoptado distintas metodologías ágiles para mejorar su proceso de desarrollo de software (Choudhary & Rakesh,

2016). Microsoft enfrentaba varios desafíos en su proceso de desarrollo de software antes de adoptar estas metodologías conocidas como Agile Software Development (ASD). Los métodos tradicionales de desarrollo, como el modelo en cascada, resultaban rígidos y no permitían suficiente flexibilidad para adaptarse a los cambios frecuentes en los requisitos del cliente y del mercado. Esto a menudo conducía a productos que no cumplían completamente con las expectativas o que requerían modificaciones costosas y tardías.

Para abordar estos problemas, Microsoft optó por implementar varias metodologías ágiles, con Scrum siendo la más ampliamente adoptada entre sus equipos de desarrollo. Además de **Scrum**, Microsoft también ha utilizado otras metodologías ágiles como **Extreme Programming (XP)** y **Feature-driven Development (FDD)**, cada una adaptada para satisfacer necesidades específicas dentro de diferentes equipos y proyectos en la organización.

La adopción de estas metodologías ágiles ha proporcionado varios beneficios significativos a Microsoft:

- **Mejora en la Comunicación y Coordinación:** Los equipos destacan las reuniones diarias (daily scrums) como fundamentales para mejorar la comunicación entre desarrolladores y testers, facilitando así una colaboración más estrecha y efectiva.
- **Liberaciones Rápidas:** Gracias a la Integración Continua (Continuous Integration), Microsoft ha logrado reducir el tiempo entre versiones demostrables del producto, pasando de ciclos de desarrollo largos a liberaciones más frecuentes cada pocas semanas.
- **Flexibilidad en el Diseño:** Los ciclos cortos de desarrollo combinados con el feedback constante de los clientes han permitido a Microsoft adaptarse más ágilmente a los cambios en los requisitos del proyecto, eliminando diseños deficientes de manera más rápida y eficiente.
- **Proceso Más Ajustado y Razonable:** Los desarrolladores aprecian la reducción de procesos rígidos que limitan la creatividad y emergencia de nuevas ideas, favoreciendo en su lugar un enfoque más flexible y adaptable.

Sin embargo, la implementación de metodologías ágiles también ha enfrentado ciertas limitaciones:

---

- **No Apropiado para Todos los Escenarios:** Las metodologías ágiles no son adecuadas para proyectos completamente nuevos (greenfield) o para el mantenimiento de sistemas donde se requiere una documentación exhaustiva y rigurosa.
- **Dependencia de la Involucración del Usuario:** El éxito de los proyectos ágiles en Microsoft depende en gran medida de la cooperación y comunicación activa de los usuarios finales, lo cual puede ser un desafío en entornos donde esta colaboración es limitada.

La experiencia de Microsoft con metodologías ágiles subraya la importancia de la adaptabilidad, la comunicación efectiva y la flexibilidad en el desarrollo de software a gran escala. En el futuro, la compañía planea seguir refinando sus prácticas ágiles, abordando preocupaciones como la escalabilidad en proyectos más grandes y la aceptación de estas metodologías por parte de la gerencia.

Este caso de estudio ilustra cómo una empresa de renombre mundial como Microsoft ha integrado con éxito metodologías ágiles en su cultura organizacional a través de un enfoque iterativo para mejorar significativamente sus prácticas de desarrollo de software, mejorando la eficiencia, la calidad y la capacidad de respuesta a las necesidades cambiantes del mercado.

#### **4.1.4 AMAZON**

Amazon, una de las empresas tecnológicas líderes del mundo, emplea diversas metodologías ágiles como **Scrum**, **XP** y **Crystal**, junto con enfoques híbridos, permitiendo a los equipos elegir la mejor opción según sus necesidades (Dragičević & Bošnjak, 2020). La implementación ágil de Amazon se basa en una obsesión por el cliente, equipos pequeños y autónomos, y una estructura organizacional en red (Denning, 2019).

- **Obsesión por el Cliente:** Las prácticas ágiles de Amazon están impulsadas por un enfoque centrado en el cliente. Los equipos utilizan métricas basadas en el cliente para guiar el desarrollo, asegurando que las necesidades del usuario final estén siempre en primer plano. Esta obsesión por la satisfacción del cliente ayuda a Amazon a mantener su ventaja competitiva.

- **Equipos Pequeños y Autónomos:** La estructura organizacional de Amazon cuenta con "equipos de dos pizzas", lo suficientemente pequeños para ser alimentados por dos pizzas, promoviendo la agilidad y la autonomía. Estos equipos son responsables del ciclo completo de vida de sus microservicios, desde el desarrollo hasta el soporte. Esta configuración permite una iteración rápida y la entrega continua de software de alta calidad.
- **Estructura en Red:** La estructura de la compañía soporta la toma de decisiones descentralizada. Se fomenta que los equipos planifiquen de abajo hacia arriba, lo que impulsa la innovación y garantiza que aquellos más cercanos al cliente puedan tomar decisiones impactantes. Este proceso de planificación de abajo hacia arriba implica que cada equipo cree planes detallados que son revisados y consolidados por la administración.
- **Arquitectura de Microservicios:** Inicialmente construida sobre una arquitectura monolítica, Amazon hizo la transición a microservicios para mejorar la agilidad. Cada microservicio es simple, autónomo y se comunica a través de APIs, lo que permite a los equipos desarrollar, desplegar y escalar independientemente. Este cambio arquitectónico apoya las prácticas de entrega y despliegue continuo de Amazon.
- **Automatización y Pruebas:** La automatización es integral en las prácticas ágiles de Amazon. Los procesos de construcción, liberación y entrega están altamente automatizados, incorporando diversas pruebas, incluidas funcionales, de integración y de rendimiento. Esta automatización asegura que los errores se detecten temprano y que los despliegues sean frecuentes y fiables.
- **Integración de la Seguridad:** La seguridad está integrada a lo largo del proceso de desarrollo. Amazon practica DevSecOps, donde el desarrollo, la seguridad y las operaciones están integrados. Los equipos son responsables de la seguridad desde la fase inicial de arquitectura, pasando por la codificación y las pruebas, asegurando que se mantengan prácticas de seguridad robustas.
- **Pipeline de Entrega:** Amazon emplea un pipeline de entrega completamente automatizado, permitiendo entregas continuas y múltiples diarias. Este pipeline está diseñado para ser pesimista, buscando constantemente fallos potenciales para prevenir problemas antes de que lleguen a producción. El proceso incluye controles y mejores prácticas integrados, asegurando consistencia y fiabilidad en los despliegues.

- **Cultura de Operaciones:** Las operaciones son un enfoque crítico, con líderes dedicando un tiempo significativo a la excelencia operativa. Las reuniones operativas semanales requieren que los equipos expliquen cualquier desviación en métricas clave, promoviendo la responsabilidad y la mejora continua.
- **Post-Análisis:** Amazon enfatiza el aprendizaje de los fallos. Los errores críticos se abordan de inmediato y se realizan análisis a posteriori detallados para entender la causa raíz y evitar que vuelva a suceder. Este proceso implica un examen minucioso por varios niveles de gestión, fomentando una cultura de mejora continua.

La implementación de las metodologías ágiles en Amazon, impulsada por un enfoque centrado en el cliente, equipos pequeños y autónomos, y una estructura organizacional robusta, le permite mantener su posición como líder en innovación y excelencia operativa

#### **4.1.5 TESLA**

Tesla, la innovadora empresa de tecnología y automóviles eléctricos con sede en Silicon Valley, ha revolucionado la industria automotriz no solo por su enfoque en vehículos eléctricos, sino también por su adopción de metodologías ágiles, en particular la filosofía Lean, en la fabricación.

Tesla operó bajo el marco Agile, adaptando prácticas **Lean** para optimizar sus procesos en la fábrica de Fremont. Según Joe Justice, ex líder de Agile en Tesla y autor del libro "Scrum Master", Tesla adoptó ciclos cortos de mejora funcional, donde los equipos actuaban de forma independiente y revisaban periódicamente los planes, realizando mejoras incrementales de productos en sucesión rápida (Daum, 2022).

La implementación de Lean en Tesla se reflejó en la forma en que la compañía organizó sus líneas de ensamblaje. La introducción de "pilot lines" o celdas lean permitió a Tesla mejorar continuamente los procedimientos de montaje y componentes directamente en la línea de producción. Esta metodología aseguró que cada cambio y ajuste se integrara rápidamente, reduciendo los tiempos de desarrollo y aumentando la flexibilidad para adaptarse a nuevas tecnologías y requisitos de diseño.

Además, Tesla adoptó el principio Lean de "Genchi Genbutsu" o "ir y ver por ti mismo", donde los líderes de equipo y los ingenieros se involucraban directamente en la línea de producción para

comprender los problemas y tomar decisiones basadas en datos empíricos en tiempo real. Esto facilitó una rápida identificación y resolución de problemas, lo que fue crucial para mantener la alta calidad y la eficiencia en la producción.

El enfoque de Tesla en Lean también se extendió a la integración de pruebas y desarrollo en la misma línea de ensamblaje. Esta práctica permitió a Tesla realizar pruebas continuas y no destructivas durante el proceso de producción, asegurando que cada vehículo cumpliera con los estándares de calidad sin necesidad de fases separadas intensivas en tiempo y recursos para pruebas.

El impacto de Lean en Tesla fue evidente en la planta de Fremont, que se convirtió en la más productiva de América con una producción semanal de más de 8,500 vehículos. Tesla demostró que al adoptar principios Lean, no solo se podía aumentar la producción, sino también mejorar la calidad del producto y la capacidad de respuesta a las demandas del mercado de manera significativa.

En resumen, Tesla no solo ha transformado la industria automotriz con sus vehículos eléctricos, sino que también ha establecido un nuevo estándar en la fabricación ágil, utilizando principios Lean para lograr una innovación continua, una eficiencia operativa excepcional y una capacidad de adaptación rápida a los cambios del mercado.

#### **4.1.6 SPOTIFY**

Spotify, la plataforma líder de streaming de música, ha desarrollado un modelo ágil único conocido como el "Spotify Model", adaptado para gestionar un programa de software a gran escala con más de 300 equipos. Este modelo combina principios de **Lean** y **Scrum**, adaptándolos para ajustarse a las necesidades específicas de la organización (Salameh & Bass, 2020).

En el corazón del Spotify Model se encuentran los "squads" (equipos), unidades autónomas compuestas por desarrolladores, diseñadores y otros roles necesarios para el desarrollo de productos. Cada squad tiene la autonomía para adaptar prácticas ágiles según sus necesidades específicas, fomentando así la innovación y la eficiencia en el desarrollo.

La autonomía de los squads se facilita minimizando las dependencias entre ellos y permitiéndoles tomar decisiones internas de manera independiente, sin necesidad de pasar por capas de gestión

jerárquica. A pesar de esta independencia, los squads están alineados con objetivos comunes de desarrollo de productos, asegurando cohesión y dirección estratégica dentro de la organización.

Para promover la colaboración y mitigar las dependencias entre squads, Spotify organiza los equipos en estructuras más amplias llamadas "Tribes" (tribus), que consisten en colecciones de squads co-localizados. Cada Tribu está diseñada para contener menos de 100 personas, facilitando la comunicación y la coordinación efectiva entre los equipos.

Dentro de cada Tribu, existen los "Chapters" (capítulos), grupos de personas con habilidades similares que trabajan dentro de la misma área de competencia. Los Chapters se reúnen regularmente para resolver problemas específicos dentro de su campo de experiencia, actuando como un punto de cohesión dentro de la organización.

Además, Spotify emplea "Guilds" (gremios), grupos de interés que se extienden a lo largo de toda la organización y que buscan compartir conocimientos y mejores prácticas en áreas específicas. Esta estructura horizontal de comunidades (Guilds) complementa la estructura vertical de Tribes y Chapters, asegurando un intercambio continuo de conocimientos y apoyo entre los equipos.

El modelo ágil de Spotify también enfatiza la adaptabilidad continua y el aprendizaje. La compañía anima a sus empleados a aprender y adaptar continuamente los procesos de desarrollo de software ágil. Lo que funcionaba hace algunos años puede no ser aplicable hoy en día, por lo que Spotify promueve una cultura de mejora continua y adaptación de prácticas ágiles según evolucionan las necesidades del mercado y la tecnología.

El impacto del modelo ágil de Spotify ha sido significativo, influenciando a numerosas organizaciones que han adaptado este enfoque para ajustarse a sus propias estrategias y culturas empresariales. Al alinear autonomía de equipos con objetivos claros y estructuras adaptativas, Spotify ha demostrado cómo la flexibilidad y la colaboración pueden coexistir para impulsar la innovación y el éxito a gran escala.

#### **4.1.7 BOEING**

Siguiendo el ejemplo de Toyota, Boeing ha implementado prácticas de manufactura ágil y **lean** en la industria aeroespacial, donde la precisión y la capacidad de respuesta son cruciales. Este caso analiza los desafíos y avances de Boeing en esta transición, basado en el artículo de Phillips (1999).

La industria aeroespacial se caracteriza por producir productos de alta tecnología con una complejidad significativa, lo que difiere de la industria automotriz, conocida por sus altos volúmenes de producción y procesos estandarizados. La pregunta clave que Boeing se plantea es si las prácticas lean, exitosas en la industria automotriz, pueden ser aplicadas eficazmente en la aeroespacial.

En su esfuerzo por adoptar prácticas lean, Boeing ha trabajado en la reducción de desperdicios y la mejora continua de sus procesos. Han eliminado redundancias y han optimizado la cadena de suministro mediante una estrecha colaboración con sus proveedores. Además de las prácticas lean, Boeing ha comenzado a adoptar estrategias de manufactura ágil para aumentar su flexibilidad y capacidad de respuesta ante cambios en la demanda. Han formado equipos multifuncionales, implementado técnicas de prototipado rápido y adoptado tecnologías avanzadas de información para mejorar la comunicación y coordinación interna.

A pesar de los desafíos, los beneficios a largo plazo de esta transformación incluyen una mayor eficiencia operativa, reducción de costos y una mejor capacidad de respuesta a las demandas del mercado.

En conclusión, la experiencia de Boeing en la adopción de manufactura ágil y lean representa un avance significativo hacia la modernización de sus procesos de producción. Este caso demuestra cómo la adopción de metodologías ágiles puede transformar la manufactura en una industria altamente técnica y regulada como la aeroespacial. Los resultados positivos obtenidos por Boeing, en términos de eficiencia, flexibilidad y calidad del producto, destacan la importancia de la agilidad en el entorno empresarial moderno.

#### **4.1.8 OPEL ESPAÑA**

Opel España, una filial de General Motors, ha integrado **Kanban** y **Lean Manufacturing** en su planta de Zaragoza donde produce modelos como el Corsa y el Meriva. Este enfoque ha sido una respuesta a un entorno empresarial caracterizado por un nivel medio de cambio y diversidad y una alta competencia (Vázquez-Bustelo & Avella, 2006).

Opel ha adoptado métodos de fabricación ágiles al enfocarse tanto en prácticas estructurales (instalaciones y equipos) como en prácticas infraestructurales (normas y procedimientos de producción). La gestión ha enfatizado la eliminación de prácticas obsoletas de gestión humana y ha implementado un sistema de trabajo en equipo, contratación avanzada, prácticas de capacitación y un sistema de sugerencias efectivo. Además, la planta ha incorporado sistemas de fabricación flexibles y ha externalizado procesos estratégicos para centrarse en sus competencias clave. La integración con proveedores, la agrupación de recursos dispersos y la orientación al mercado son fundamentales para su agilidad.

Estas prácticas han permitido a Opel mejorar su velocidad, flexibilidad y capacidad de respuesta a las condiciones cambiantes del mercado, logrando una ventaja competitiva en calidad, innovación, servicio y flexibilidad.

#### **4.1.9 3M ESPAÑA**

En 3M España, la fábrica de productos de cuidado del hogar y salud en Madrid ha adoptado una estrategia de fabricación ágil en un entorno con un nivel medio-bajo de dinamismo y alta competencia (Vázquez-Bustelo & Avella, 2006). La estrategia de negocio de 3M se basa en la innovación y la capacidad de fabricación, promoviendo la coordinación entre las diferentes áreas de la empresa.

La planta ha implementado un modelo organizativo basado en la gestión de procesos que evoluciona hacia la gestión de proyectos, fomentando la comunicación interna y el desarrollo de una cultura de innovación y orientación al mercado. Se han creado líneas de producción flexibles y células de trabajo operadas por empleados capacitados y versátiles. Además, 3M ha externalizado actividades

no esenciales y ha establecido acuerdos de colaboración, incluso con competidores, para acceder a segmentos de mercado más rápidamente.

Estas iniciativas han mejorado la capacidad de respuesta de 3M a las necesidades del cliente y han resultado en mejores resultados financieros y de mercado. La metodología ágil predominante en este caso es **Scrum**, dado su enfoque en la gestión de proyectos y la organización en equipos multifuncionales, así como Lean, por la eliminación de actividades que no agregan valor y la búsqueda constante de mejoras.

#### **4.1.10 JOHN DEERE IBÉRICA**

John Deere Ibérica, filial de John Deere en España y Portugal, ha adoptado **Kanban** en su planta de Madrid, especializada en componentes de maquinaria agrícola (Vázquez-Bustelo & Avella, 2006). En un entorno caracterizado por una alta estacionalidad de la demanda y la necesidad de personalización del producto, la fábrica ha desintegrado verticalmente sus operaciones, enfocándose en competencias clave como el mecanizado, soldadura y pintura.

La fábrica ha mejorado la flexibilidad reduciendo el tiempo de preparación de máquinas y aumentando la versatilidad de los empleados a través de la formación y el empoderamiento. La implementación de un sistema de producción celular y un sistema de tarjetas Kanban ha reducido el nivel de trabajo en proceso. La integración de sistemas de información y tecnologías avanzadas de diseño y fabricación ha sido crucial para mejorar la capacidad de respuesta y la calidad.

#### **4.1.11 AIRBUS ESPAÑA**

Airbus España, parte del consorcio Airbus, ha adoptado una estrategia de fabricación ágil en su planta de Getafe, Madrid (Vázquez-Bustelo & Avella, 2006). En un entorno dinámico y competitivo, la fábrica se ha centrado en la producción de componentes de alto riesgo tecnológico, externalizando actividades de bajo valor. Los acuerdos de colaboración con otros fabricantes y la integración operativa han mejorado la agilidad de la planta.

La fábrica ha establecido equipos multifuncionales y programas de flexibilización de herramientas de fabricación. La integración y concurrencia en las operaciones de diseño, desarrollo y fabricación,

tanto a nivel local como global, han sido fundamentales para el éxito competitivo. La adopción de tecnologías avanzadas de diseño y sistemas de información integrados ha facilitado la coordinación y ha mejorado la calidad y la entrega.

En el caso de Airbus España, la colaboración multifuncional tanto a nivel local como internacional y la gestión de proyectos sugieren un uso de **Scrum**, dada la necesidad de adaptabilidad y coordinación en proyectos complejos.

#### 4.1.12 TABLA RESUMEN DE CASOS

A continuación, se presenta una tabla que agrupa los casos recopilados de empresas que utilizan Agile por metodología y, utilizando también los datos de la Tabla 1, se concluye para qué tipo de proyectos o tareas es más adecuada cada una de estas metodologías. Esta tabla tiene como objetivo facilitar una solución basada en las metodologías ágiles para las empresas que se enfrentan al desafío de la falta de modelos tipo en su transición a la Industria 4.0.

Metodología	Tipo de proyectos	Casos
Scrum	Proyectos complejos con requisitos cambiantes; desarrollo de software; equipos pequeños y autónomos; entregas frecuentes y revisiones.	IBM, Microsoft, Amazon, Spotify, 3M España, Airbus España
Kanban	Proyectos con un flujo de trabajo continuo; mantenimiento y soporte; mejora continua; tareas repetitivas y operativas.	Toyota, Opel España, John Deere Ibérica
Lean	Proyectos que buscan eliminar desperdicios; procesos de producción y manufactura; mejora de eficiencia y reducción de costes.	Tesla, Spotify, Boeing, Opel España
XP	Desarrollo de software con énfasis en la calidad; implementación de módulos complejos; proyectos que requieren iteraciones rápidas y pruebas continuas; colaboración cercana con el cliente.	IBM, Microsoft, Amazon
Crystal	Proyectos pequeños a medianos con equipos distribuidos; flexibilidad en el proceso; énfasis en la comunicación y la adaptabilidad.	Amazon
DSDM	Proyectos con plazos estrictos y presupuestos fijos; desarrollo de sistemas y soluciones empresariales; enfoque en entregas rápidas y controladas.	No se han encontrado casos

ASD	Proyectos en entornos altamente inciertos; desarrollo de software en mercados cambiantes; énfasis en la adaptación continua y la colaboración.	No se han encontrado casos
FDD	Proyectos grandes y complejos; desarrollo de versiones de productos orientado a características; enfoque en la planificación y la documentación detallada.	Microsoft

*Tabla 2. Resumen de casos de empresas que utilizan Agile [Elaboración propia]*

Tras hacer esta revisión de la literatura académica sobre casos de empresas grandes que apliquen alguna metodología agile de las que se han identificado y descrito en este trabajo se concluye que las metodologías más populares son Scrum, Kanban, Lean y XP, mientras que apenas se han encontrado casos que implementen Crystal y FDD, y ninguno de DSDM y ASD. En el caso de las metodologías DSDM y ASD no se ha detectado ningún caso y esto seguramente se deba a que son metodologías muy ligadas al ámbito puramente de software y no tanto al industrial.

Sin embargo, se ha observado que, aunque la aplicación de estas metodologías a gran escala todavía no está muy extendida y falta mucha literatura académica que desarrolle en detalle cómo se aplican estas metodologías dentro de las empresas identificadas (Stavru, 2014). Además, en muchos de los casos identificados las empresas utilizan un híbrido que combina varios principios de a medida de sus necesidades y cultura (Alqudah & Razali, 2016) (Campanelli & Parreiras, 2015).

Por otro lado, se han podido detectar muchos casos de aplicación de Agile en empresas a pequeña escala y muy localizada, donde parece que es más fácil implementar ese tipo de metodologías (Medeiros et al., 2020) (Rocamoro, 2022). No obstante, las evidencias encontradas sugieren una creciente penetración de estas metodologías (o un híbrido de estas) en las grandes empresas a medida que avanzan en sus estrategias de transformación digital y adopción de nuevas tecnologías.

## 4.2 Solución a la resistencia a la innovación y al cambio

La resistencia a la innovación y al cambio se manifiesta en la reticencia de individuos y organizaciones a adoptar nuevas tecnologías, procesos o prácticas, incluso cuando se reconoce su potencial beneficio. Este fenómeno puede ser atribuido a diversos factores psicológicos,

organizativos y culturales, como el miedo a lo desconocido, la inercia organizativa, la falta de capacitación o la cultura empresarial conservadora (Oreg, 2006).

Se trata de un fenómeno común en contextos empresariales, especialmente en industrias tradicionales donde las prácticas arraigadas suelen ser reticentes a la adopción de nuevas metodologías y tecnologías (Müller et al., 2018). Por lo que se agrava en el contexto de la transición hacia la Industria 4.0, donde la incorporación de tecnologías disruptivas y la reconfiguración de procesos pueden generar incertidumbre y temor entre los empleados y directivos.

Por otro lado, esta resistencia puede manifestarse en diversos niveles organizativos, desde la alta dirección hasta los trabajadores de base. Sin embargo, si bien las metodologías ágiles son efectivas para fomentar la innovación y la adaptabilidad a nivel operativo, no son aplicables de manera directa a nivel de dirección estratégica y gerencial (Gandomani & Nafchi, 2016).

Las metodologías ágiles, como Scrum, Kanban, y Lean, están diseñadas para mejorar la eficiencia y la flexibilidad en la ejecución de proyectos, mediante equipos multifuncionales autoorganizados, decisiones descentralizadas y ciclos cortos de desarrollo. Es decir, su aplicación se limita principalmente a nivel operativo, por lo que este tipo de metodologías sobre todo ayudarían a superar la resistencia a la innovación y al cambio de los empleados base.

En el contexto de la Industria 4.0, la resistencia a la innovación y al cambio se ve exacerbada por la incorporación de tecnologías disruptivas y la reconfiguración de procesos que pueden generar incertidumbre y desconfianza entre los empleados y directivos.

No obstante, los propios principios y valores que promueve Agile contribuyen directamente a la solución de esta problemática. Las metodologías ágiles, como Scrum, Kanban, XP, Lean, Crystal, DSDM, ASD y FDD, se caracterizan por su enfoque flexible y adaptativo, y sus características las convierten en herramientas poderosas para superar la resistencia a la innovación y al cambio en la transición hacia la Industria 4.0 en España.

- Las metodologías ágiles promueven la colaboración activa entre los equipos multidisciplinares y fomentan la participación de todos los miembros de la organización en

el proceso de cambio. Esto ayuda a superar la resistencia al involucrar a los empleados en la toma de decisiones y en la identificación de soluciones, lo que aumenta su sentido de pertenencia y compromiso con el cambio (Hoda et al., 2012).

- La naturaleza iterativa e incremental de las metodologías ágiles permite una adaptación continua a medida que se obtienen nuevos conocimientos y se enfrentan a desafíos inesperados. Esta flexibilidad es fundamental para mitigar el temor al cambio, ya que reduce el riesgo percibido al permitir ajustes graduales y controlados en lugar de cambios drásticos y disruptivos (Poppendieck & Poppendieck, 2003).
- Las metodologías ágiles se centran en la entrega temprana y frecuente de productos o servicios tangibles, lo que proporciona resultados visibles y tangibles a corto plazo (Schwaber & Sutherland, 2013). Esto ayuda a generar confianza y a reducir la incertidumbre asociada con el cambio, ya que los stakeholders pueden ver directamente el progreso y proporcionar feedback rápidamente, lo que permite realizar ajustes en tiempo real.
- Y lo más importante, las metodologías ágiles promueven una cultura de mejora continua, donde el aprendizaje y la retroalimentación son elementos clave del proceso. Al fomentar una mentalidad de experimentación y aprendizaje, las empresas pueden reducir el miedo al fracaso y fomentar una actitud receptiva hacia la innovación (Dikert et al., 2016).

En conclusión, las metodologías ágiles representan un marco efectivo para abordar la resistencia a la innovación y al cambio en la transición hacia la Industria 4.0 en España. Al proporcionar flexibilidad, fomentar la colaboración y la entrega continua de valor, y promover una cultura de mejora continua, estas metodologías ayudan a crear un entorno propicio para la adopción de nuevas tecnologías y prácticas, impulsando así la competitividad y el crecimiento de las empresas españolas en el panorama industrial global.

Adicionalmente, dado que es complicado aplicar directamente metodologías ágiles a nivel de dirección, resulta fundamental que las empresas adopten un enfoque holístico e integrado que combine la aplicación de metodologías ágiles a nivel operativo con iniciativas de liderazgo y gestión del cambio para abordar la resistencia a la innovación y al cambio en todos los niveles organizativos.

### 4.3 Solución a las dudas sobre los beneficios de las inversiones

La implementación de la Industria 4.0 en las empresas industriales españolas enfrenta significativas barreras, especialmente en lo que respecta a la incertidumbre sobre los beneficios de las inversiones en nuevas tecnologías. Las metodologías ágiles, con su enfoque en la adaptabilidad, la entrega continua de valor y la colaboración, ofrecen un marco eficaz para mitigar estos riesgos y asegurar una transición exitosa. A continuación, se analiza cómo las características y principios de las metodologías ágiles contribuyen a reducir los riesgos en las inversiones tecnológicas.

#### Visibilidad y Transparencia

Una de las principales ventajas de las metodologías ágiles es su capacidad para proporcionar una alta visibilidad y transparencia en los proyectos. A través de prácticas como la visualización del flujo de trabajo y las reuniones diarias (daily stand-ups), las metodologías ágiles permiten a los equipos y a la dirección tener una comprensión clara y actualizada del progreso del proyecto y de los problemas que puedan surgir. Esta transparencia es crucial para mitigar el riesgo de inversiones en proyectos de Industria 4.0, ya que permite:

- **Identificación Temprana de Problemas:** Los problemas se pueden detectar y abordar en las primeras etapas del proyecto, evitando retrasos y costos adicionales. Esto asegura que las inversiones se utilicen de manera eficiente y que se maximice el retorno de la inversión.
- **Monitoreo Continuo del Valor Entregado:** Al desglosar los proyectos en incrementos pequeños y manejables, las empresas pueden evaluar continuamente los beneficios de cada fase de implementación tecnológica. Esto ayuda a justificar las inversiones ante los stakeholders mostrando resultados tangibles y medibles en cada etapa del proyecto.

#### Adaptación Rápida al Cambio

La capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios es una característica central de las metodologías ágiles. En un entorno de Industria 4.0, donde las tecnologías y las condiciones del mercado evolucionan rápidamente, esta adaptabilidad es esencial para mitigar los riesgos asociados con la incertidumbre tecnológica. Las metodologías ágiles permiten a las empresas:

- **Responder Ágilmente a las Demandas del Mercado:** Al implementar ciclos cortos de desarrollo y revisiones periódicas, las empresas pueden ajustar sus estrategias y soluciones tecnológicas en respuesta a los cambios en las demandas del mercado y en las condiciones operativas. Esto minimiza el riesgo de obsolescencia y asegura que las inversiones tecnológicas sigan siendo relevantes y efectivas.
- **Incorporar Innovaciones Tecnológicas de Forma Incremental:** Las metodologías ágiles facilitan la integración gradual de nuevas tecnologías, permitiendo probar y ajustar cada innovación antes de una implementación completa. Esto reduce el riesgo de fallos catastróficos y permite a las empresas aprender y mejorar continuamente sus procesos y tecnologías.

### **Entrega Continua de Valor**

Las metodologías ágiles se centran en la entrega continua de valor al cliente, lo cual es fundamental para justificar las inversiones en proyectos de Industria 4.0. Al adoptar un enfoque iterativo e incremental, las empresas pueden demostrar los beneficios de sus inversiones de manera continua y progresiva. Esto se traduce en:

- **Mejora de la Satisfacción del Cliente:** La retroalimentación constante de los usuarios finales permite ajustar y mejorar las soluciones tecnológicas de acuerdo con sus necesidades y expectativas. Esto no solo aumenta la satisfacción del cliente, sino que también asegura que las inversiones se alineen con las demandas reales del mercado.
- **Reducción del Riesgo de Inversión:** La entrega incremental de funcionalidades permite evaluar y demostrar el valor de las inversiones en cada fase del proyecto. Esto ayuda a reducir las dudas sobre los beneficios y a asegurar un retorno positivo de la inversión a lo largo del tiempo.

### **Mejora Continua y Eliminación del Desperdicio**

Las metodologías ágiles promueven la mejora continua y la eliminación del desperdicio, principios que son esenciales para maximizar la eficiencia y la eficacia de las inversiones en Industria 4.0. A través de prácticas como la retrospectiva y la revisión constante del proceso, las empresas pueden:

- **Optimizar el Uso de Recursos:** Al identificar y eliminar actividades que no agregan valor, las empresas pueden utilizar sus recursos de manera más eficiente, reduciendo costos y mejorando la rentabilidad de las inversiones tecnológicas.
- **Fomentar una Cultura de Innovación:** La mejora continua no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fomenta una cultura de innovación y aprendizaje dentro de la organización. Esto es crucial para mantenerse competitivos en un entorno de rápida evolución tecnológica.

### **Colaboración y Compromiso del Equipo**

Las metodologías ágiles enfatizan la colaboración y el compromiso del equipo, factores fundamentales para el éxito de cualquier proyecto de transformación tecnológica. Al promover un entorno de trabajo colaborativo y participativo, las metodologías ágiles:

- **Mejoran la Moral y la Productividad del Equipo:** Un equipo comprometido y colaborativo es más propenso a superar los desafíos y a encontrar soluciones innovadoras a los problemas. Esto reduce el riesgo de fracaso y asegura una implementación más efectiva de las tecnologías de Industria 4.0.
- **Facilitan la Adopción de Nuevas Tecnologías:** La colaboración y la participación activa de todos los miembros del equipo en el proceso de desarrollo aseguran una mayor aceptación y un uso más efectivo de las nuevas tecnologías implementadas. Esto es esencial para maximizar los beneficios de las inversiones y asegurar una transición exitosa a la Industria 4.0.

En resumen, las metodologías ágiles ofrecen una serie de ventajas clave que pueden mitigar significativamente los riesgos asociados con las inversiones en proyectos de Industria 4.0. A través de la visibilidad y transparencia, la capacidad de adaptación, la entrega continua de valor, la mejora continua y la colaboración del equipo, las empresas industriales españolas pueden enfrentar de manera más efectiva las incertidumbres tecnológicas y asegurar un retorno positivo de sus inversiones.

El siguiente apartado de este trabajo propondrá un plan detallado de implementación de metodologías ágiles en empresas del sector industrial español, con el objetivo de facilitar su transición a la Industria 4.0 y asegurar una adopción exitosa y sostenible de las nuevas tecnologías.

## **4.4 Propuesta final: Plan de implementación de agile en la Industria 4.0**

En los apartados anteriores, se ha justificado y propuesto cómo las metodologías ágiles pueden ayudar a las empresas españolas a superar las barreras principales que dificultan el paso a la Industria 4.0. Con el objetivo de completar la propuesta y que las empresas puedan hacer una implementación efectiva, finalmente se esbozará una propuesta en este apartado que explique por pasos cómo las empresas pueden llevar a cabo esta implementación de manera efectiva.

Pero antes de proponer un plan detallado sobre cómo implementar Agile en las empresas industriales, primero resulta necesario establecer un vínculo que conecte el foco de este trabajo, los paradigmas 7-12, con la metodología Agile.

Tras demostrar si existe este vínculo, se hará la propuesta final del plan por pasos de implementación de una metodología ágil específica que permita a las empresas industriales adoptar eficazmente uno de los paradigmas de la Industria 4.0 analizados en este trabajo.

### **4.4.1 VÍNCULO ENTRE AGILE Y PARADIGMAS 7-12**

La empresa de consultoría LEANDigital, especializada en acelerar la transformación digital de sus clientes, propone un modelo a partir de las mejores prácticas de los negocios, la tecnología más eficiente y una visión 360° en torno al cliente (LEANDigital, 2024). Este modelo se basa en la relación de cada eje de la empresa con tecnologías de la Industria 4.0 a través de Agile de la siguiente manera:

Empresa	AGILE	Tecnologías 4.0
Operaciones		App, Plataformas, Business Intelligence
Gestión de costes		Automatización, Robótica, Big Data, MES, Eficiencia energética
Calidad		MES, Realidad Aumentada, Trazabilidad, Big Data
Planificación y logística		Drones, Trazabilidad, Planificación Producción, Simulación, AGVs
Medios productivos		Fabricación aditiva, MTO predictivo, IoT, GMAO, MES, Big Data, Realidad Aumentada, Robótica
Relación con proveedores		Blockchain, Plataformas, IoT, Trazabilidad
Relación con clientes		Blockchain, IoT, Digital Business, Plataformas, Big Data, App
Nuevos productos y servicios		Fabricación aditiva, Realidad Virtual, Simulación, IoT, Big Data

Tabla 3. Modelo de relación empresa-paradigmas a través de Agile [Elaboración propia]

En el modelo representado en la Tabla 3 se basa en el modelo de LEANDigital (2024) y en él aparecen varios de los paradigmas en los que se centra este trabajo como los robots autónomos, la fabricación aditiva, la realidad aumentada y el digital twin (simulación). No obstante, no se detalla cuál es el vínculo de estas tecnologías con Agile o si verdaderamente existe esta relación.

Debido a esto, resulta necesario hacer una revisión de la literatura académica para identificar si existe esta conexión y así justificar la utilización de Agile para adoptar los paradigmas. Tras hacer la revisión, se han podido identificar dos vínculos con el paradigma de la Inteligencia Artificial y el Machine Learning, y la Fabricación Aditiva.

### Vínculo de Fabricación Aditiva con Agile

La literatura académica que relaciona la fabricación aditiva de productos o partes de productos con alguna metodología ágil es muy escasa. Sin embargo, recientemente se ha publicado algún estudio sobre este tema que explican el proceso y argumentan los beneficios obtenidos de aplicar agile en este tipo de tecnologías.

La tesis doctoral de D. Omidvarkarjan (2024) explora cómo la combinación de la metodología Agile para hardware (AHD) y la fabricación aditiva (AM) puede superar los desafíos en la adopción

industrial de AM. La adopción de AM sigue siendo un reto significativo debido a las implicaciones complejas y la incertidumbre que introduce en las cadenas de valor existentes. La metodología AHD, caracterizada por ciclos cortos e iterativos de diseño, realización y pruebas, puede reducir estas incertidumbres a través de la validación temprana y frecuente de incrementos físicos de productos.

Uno de los estudios clave presentados en la tesis es el de Reichwein et al. (2020), donde se investigó cómo adaptar el flujo de trabajo Scrum para el desarrollo de productos con AM. Utilizando la estructura funcional de una pieza de AM como sustituto de las historias de usuario de Scrum, se desarrolló un marco que incluye una matriz de patrones de diseño para ofrecer soluciones específicas de AM. Este enfoque fue probado mediante el desarrollo de un termobloque L-PBF para una máquina de café ficticia. Los resultados mostraron que la combinación de AHD y AM ayuda a superar muchos desafíos al aplicar métodos ágiles al desarrollo de hardware, permitiendo ajustes más rápidos y precisos en el diseño de productos.

Otro caso presentado por Montero et al. (2019) investigó el desarrollo iterativo de piezas de repuesto metálicas convencionales mediante AM. En estos estudios, las piezas fueron desarrolladas y validadas en tres iteraciones consecutivas utilizando prototipos cada vez más complejos, desde prototipos FDM de medio tamaño hasta prototipos metálicos L-PBF a tamaño completo. Este enfoque permitió identificar y resolver incertidumbres técnicas de manera temprana, resultando en ahorros significativos de tiempo y costos.

Esta tesis concluye que la combinación de AHD y AM permite a las empresas manufactureras reaccionar de manera flexible a los cambios en los requisitos del cliente y a problemas técnicos imprevistos, reduciendo así la incertidumbre y el riesgo en el desarrollo de nuevos productos. Los incrementos de productos resultantes de las iteraciones de desarrollo pueden ser ajustados y mejorados continuamente, incluso después del lanzamiento al mercado.

Además, la integración de AHD y AM facilita la adopción de AM a nivel de cadena de valor. La validación temprana y frecuente de productos AM cada vez más sofisticados ayuda a las empresas a construir conocimientos y a implementar mejoras de procesos necesarias a lo largo de la cadena

de valor. Este enfoque iterativo permite identificar y abordar los eslabones más débiles en la cadena de procesos, promoviendo mejoras continuas y el desarrollo de competencias relacionadas con AM.

### **Vínculo de IA+ML con Agile**

La literatura académica que relaciona directamente la Inteligencia Artificial (IA) y el Machine Learning (ML) con Agile es más extensa. Se ha detectado que se utilizan algoritmos de Machine Learning en el desarrollo ágil de software (ASD) en numerosos estudios empíricos (Hanslo & Tanner, 2020).

El estudio de M. Perkusich et al., (2020) explora la integración de técnicas de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML) en el desarrollo de software ágil, destacando los beneficios y desafíos asociados. A través de una revisión sistemática de la literatura, identificaron varias áreas clave donde estas tecnologías están siendo aplicadas.

En el ámbito de la automatización de pruebas, los algoritmos de ML permiten generar y ejecutar pruebas de manera automática, mejorando significativamente la eficiencia del proceso de desarrollo. En cuanto a la planificación y estimación de proyectos, los modelos predictivos ayudan a calcular con mayor precisión los tiempos y recursos necesarios, facilitando una gestión más efectiva. La gestión de requisitos también se beneficia del análisis de texto, que permite derivar de manera más precisa las necesidades del software a partir de la documentación existente. Además, la detección de defectos y anomalías en el código se ve mejorada mediante algoritmos de ML, lo que contribuye a la reducción de errores y a la mejora de la calidad del software.

Los beneficios observados de la integración de IA y ML en el desarrollo ágil incluyen una mayor eficiencia al reducir el tiempo necesario para completar tareas repetitivas y complejas, una mejora en la calidad del código y una capacidad ampliada para tomar decisiones basadas en datos en tiempo real. Sin embargo, también se enfrentan varios desafíos significativos. La complejidad técnica de implementar y mantener sistemas de IA y ML puede ser un obstáculo considerable. Además, existe una resistencia al cambio por parte de los equipos de desarrollo, quienes pueden mostrarse reacios a adoptar nuevas tecnologías. Otro desafío crítico es la necesidad de contar con grandes cantidades

de datos de alta calidad para entrenar los modelos de ML, lo cual puede ser un recurso difícil de obtener.

El estudio concluye que, a pesar de estos desafíos, los beneficios potenciales de integrar IA y ML en el desarrollo ágil son sustanciales. Y recomiendan a las organizaciones seguir invirtiendo y explorando gradualmente la adopción de estas tecnologías en sus procesos ágiles dado que es un ámbito de aplicación novedoso que ofrece muchos beneficios potenciales.

#### **4.4.2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE SCRUM ORIENTADO A IA+ML**

Finalmente, en este apartado se realiza una propuesta de un plan por pasos de implementación de la metodología Scrum para la adopción de tecnologías 4.0 como la Inteligencia Artificial (IA) y el aprendizaje automático (ML).

La elección de Scrum es porque se ha identificado en la Tabla 2 que Scrum es la metodología ágil más utilizada por las grandes empresas del sector industrial. Por otro lado, la elección del paradigma de la IA+ML se debe a que a lo largo de este trabajo se ha observado que esta es la tecnología 4.0 más presente y en la que más van a invertir las empresas en el corto plazo. Además, siguiendo el modelo de LEANDigital (2024) presentado en la Tabla 3, esta tecnología tiene impacto en todas las partes de la empresa.

La IA y el ML están transformando profundamente diversos aspectos operativos y estratégicos dentro de las empresas modernas. En las operaciones, estas tecnologías permiten la optimización mediante el análisis predictivo y la automatización de procesos, reduciendo errores y mejorando la eficiencia de la producción. Además, en la gestión de costes, la IA y el ML facilitan un análisis avanzado de datos financieros y operativos, optimizando presupuestos y detectando oportunidades para reducir gastos mediante la predicción de fluctuaciones de costes y la automatización de procesos financieros.

En el ámbito de la calidad, estas tecnologías monitorizan continuamente los procesos para detectar desviaciones y defectos, mejorando la consistencia y reduciendo costes asociados con la producción de productos defectuosos. En la planificación y logística, la IA y el ML optimizan las cadenas de suministro mediante la predicción de la demanda y la optimización de rutas de entrega, asegurando

una gestión eficiente de inventarios y una respuesta rápida a cambios del mercado. Y, por último, en la relación con clientes, estas tecnologías personalizan las interacciones mediante el análisis del comportamiento del cliente, mejorando la satisfacción y lealtad del cliente a través de recomendaciones personalizadas y atención al cliente automatizada.

El plan de implementación de Scrum orientado a la adopción de tecnologías como la IA y el ML planteado en esta propuesta final consta de las siguientes fases:



Figura 29. Diagrama de plan de implementación de Scrum enfocado a IA+ML [Elaboración propia]

<i>Fase</i>	<i>Subfases</i>	<i>Descripción</i>
Fase 1: Preparación y Planificación Inicial	Identificación de Stakeholders	Identificar a todas las personas y grupos interesados en el proyecto, como usuarios finales, equipos técnicos y gerentes de proyecto. Organizar reuniones iniciales para definir roles y expectativas asegura que todas las partes estén informadas y comprometidas desde el principio.
	Formación del equipo Scrum	Formar el equipo Scrum con roles específicos: Product Owner (PO), Scrum Master y Development Team. Seleccionar miembros adecuados y designar roles específicos garantiza una colaboración eficaz y un trabajo bien organizado.
	Formación en Scrum	Proporcionar capacitación en Scrum asegura que todos comprendan los roles, eventos y artefactos. La formación puede incluir talleres, cursos y recursos adicionales como libros y guías especializadas.
Fase 2: Definición del Producto y la Visión	Visión del Producto	Definir una visión clara del proyecto de IA y ML que describa el objetivo y el valor esperado. Realizar sesiones de brainstorming con stakeholders y crear un documento de visión del producto que sirva como referencia a lo largo del proyecto.
	Roadmap del Producto	Crear un roadmap de alto nivel que detalle las fases del proyecto y los hitos importantes. Planificar el progreso del proyecto y establecer expectativas claras ayuda a mantener el enfoque.
Fase 3: Creación y Gestión del Backlog	Identificación de Requisitos	Recopilar y priorizar los requisitos del proyecto, desglosándolos en historias de usuario. Trabajar con stakeholders para asegurar que todas las funcionalidades necesarias estén bien definidas y organizadas.
	Priorización del Backlog	El Product Owner prioriza el backlog basándose en el valor de negocio, la complejidad técnica y las dependencias. Revisar y ajustar la priorización regularmente ayuda a mantenerse alineado con los objetivos del proyecto.

	Estimación de Tareas	El equipo de desarrollo estima el esfuerzo necesario para cada historia de usuario utilizando técnicas como Planning Poker. Documentar y discutir estas estimaciones en equipo asegura una comprensión común.
Fase 4: Planificación del Sprint	Sprint Planning	Durante la reunión de planificación del sprint, se seleccionan las historias de usuario para el próximo sprint, desglosándolas en tareas específicas. Este paso establece un plan claro y define objetivos alcanzables para el sprint.
	Definición de Tareas	Desglosar las historias de usuario en tareas concretas y asignarlas a los miembros del equipo asegura que el trabajo esté bien distribuido y claramente definido.
	Definición de Finalizado	Establecer criterios claros para considerar una tarea como "finalizada" ayuda a mantener la calidad del trabajo. Estos criterios deben ser definidos y acordados por todo el equipo.
Fase 5: Ejecución del Sprint	Daily Stand-up	Las reuniones diarias cortas permiten al equipo mantener el alineamiento y resolver problemas rápidamente. Cada miembro responde a tres preguntas: ¿Qué hice ayer? ¿Qué voy a hacer hoy? ¿Tengo algún impedimento?
	Desarrollo y Colaboración	El equipo trabaja en las tareas asignadas, colaborando y comunicándose de manera constante. Utilizar herramientas de colaboración facilita este proceso y asegura un progreso continuo.
	Gestión de Impedimentos	El Scrum Master elimina cualquier impedimento que el equipo enfrente, asegurando que puedan trabajar de manera eficiente.
Fase 6: Revisión y Retrospectiva del Sprint	Sprint Review	Al final de cada sprint, el equipo demuestra lo que se ha completado a los stakeholders y recoge feedback. Esta reunión ayuda a validar el trabajo realizado y obtener retroalimentación valiosa.

	Sprint Retrospective	El equipo discute qué funcionó bien, qué no funcionó y cómo pueden mejorar en el próximo sprint. Documentar y acordar acciones de mejora ayuda a mejorar continuamente el proceso.
Fase 7: Entrega y Ajuste Continuo	Entrega Incremental	Cada sprint debe entregar un incremento funcional del producto, avanzando hacia la visión del producto. Validar estos incrementos asegura el progreso constante y alineado con los objetivos.
	Ajuste Continuo	Basado en el feedback de las revisiones y retrospectivas, ajustar y mejorar continuamente el proceso y el producto asegura la adaptabilidad y mejora continua.
Fase 8: Integración y Despliegue de IA y ML	Integración Continua	Implementar prácticas de integración continua asegura que el código se integra y prueba frecuentemente, detectando problemas temprano y manteniendo la calidad del código.
	Despliegue Continuo	Establecer un pipeline de despliegue continuo facilita el despliegue rápido y seguro de nuevas versiones. Automatizar el proceso de despliegue asegura que los modelos de IA y ML puedan ser implementados en producción de manera eficiente y confiable.
Fase 9: Evaluación y Optimización	Evaluación de Resultados	Medir el rendimiento de los modelos de IA y ML y evaluar su impacto en los objetivos del negocio asegura que el modelo cumple con las expectativas y aporta valor.
	Optimización y Mantenimiento	Identificar áreas de mejora basadas en los resultados y optimizar los modelos. Establecer un plan de mantenimiento regular asegura que los modelos continúen funcionando de manera óptima y relevante.

*Tabla 4. Descripción de las fases del plan de implementación Agile [Elaboración propia]*

### Ejemplo de implementación específica para IA y ML

Para ilustrar cómo se puede llevar a cabo este plan, consideremos un proyecto específico de implementación de IA y ML:

- **Sprint 1 (Preparación de Datos):** En el primer sprint, el objetivo principal es la limpieza y preprocesamiento de los datos. Las historias de usuario pueden incluir tareas como la recopilación de datos, eliminación de valores atípicos y normalización de datos. El equipo trabajará en la construcción de pipelines de datos que aseguren que los datos estén listos para el modelado. Durante este sprint, el equipo también puede identificar y resolver problemas de calidad de los datos.
- **Sprint 2 (Desarrollo del Modelo):** El segundo sprint se centra en el desarrollo del modelo. Las historias de usuario pueden incluir la selección de algoritmos y el entrenamiento del modelo. El equipo trabajará en la selección de características relevantes, entrenamiento y validación de modelos, y ajuste de parámetros. La colaboración y la experimentación son claves en esta fase para encontrar el modelo más efectivo.
- **Sprint 3 (Evaluación y Validación):** En el tercer sprint, el foco es la evaluación y validación del modelo desarrollado. Las historias de usuario pueden incluir la evaluación del rendimiento del modelo y su validación con datos reales. El equipo medirá métricas de rendimiento como la precisión y el recall, realizará pruebas A/B y utilizará técnicas de validación cruzada para asegurar que el modelo es robusto y generalizable.
- **Sprint 4 (Implementación y Despliegue):** El cuarto sprint se dedica a la implementación y despliegue del modelo en producción. Las historias de usuario pueden incluir tareas como la implementación del modelo en un entorno de producción, monitoreo de su rendimiento en tiempo real y ajustes post-despliegue. Configurar sistemas de monitoreo y alertas es crucial para asegurar que el modelo funcione correctamente y para detectar cualquier problema que pueda surgir en producción.

En conclusión, implementar Scrum en proyectos de IA y ML puede ser una herramienta poderosa para facilitar la transición a la Industria 4.0. Este plan detallado proporciona una guía clara y estructurada para las empresas, asegurando que cada fase del proyecto se gestione de manera

efectiva y colaborativa. Al seguir estos pasos, las empresas pueden abordar los desafíos de la transformación digital de manera ágil, maximizando el valor y asegurando la calidad en cada entrega. La clave del éxito radica en los principios Agile de comunicación constante, adaptación continua y enfoque en la entrega incremental de valor. De esta manera, las organizaciones no solo avanzan hacia la Industria 4.0, sino que también construyen una base sólida para la innovación futura y la mejora continua.

## 5 RESULTADOS

Este trabajo presenta un análisis detallado de la Industria 4.0 y seis de sus paradigmas, la metodología Agile y una propuesta sobre cómo las metodologías ágiles pueden integrarse en la Industria 4.0 para superar los desafíos y obstáculos que plantea.

Los principales resultados y hallazgos que se han hecho en este trabajo son:

### 1) Análisis de presencia e inversión en paradigmas 7-12

Se han analizado los datos de los informes Smart Industry que encuestan a empresas del sector industrial de España para estudiar la evolución de la Industria 4.0 desde el año 2018 hasta 2023. Utilizando los datos del porcentaje de empresas que emplean los diferentes paradigmas de la Industria 4.0, y sus planes de inversión a corto plazo, se han podido extraer valiosas conclusiones sobre el estado de los paradigmas 7-12. Por ejemplo, la IA parece ser la tecnología 4.0 con mayor relevancia y su presencia seguramente aumente considerablemente en los próximos años, mientras que la VR y AR ha ido perdiendo relevancia en los últimos años.

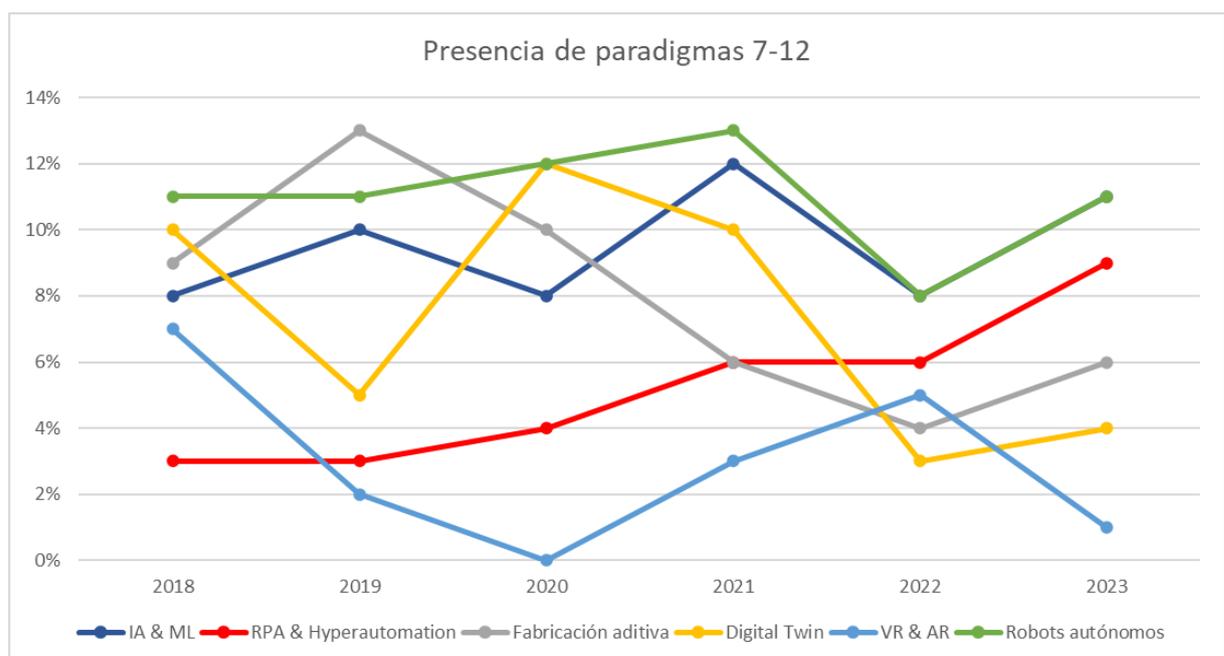


Figura 30. Presencia de paradigmas 7-12 en España [Elaboración propia]

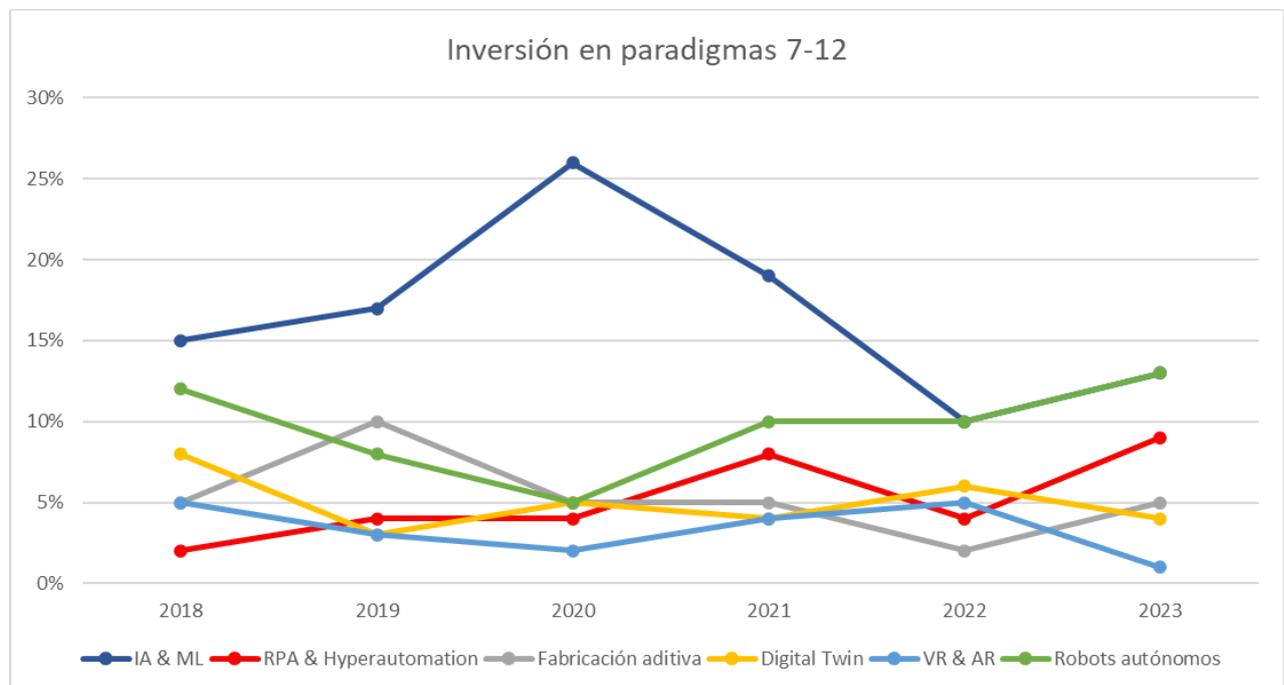


Figura 31. Inversión en paradigmas 7-12 en España [Elaboración propia]

Además, se ha analizado también el futuro de estos paradigmas utilizando los Hype Cycles de Gartner que representan en un gráfico la madurez y adopción de las tecnologías innovadoras emergentes (Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26 y Figura 27).

## 2) Identificación de las barreras de la Industria 4.0

Se ha identificado que las tres barreras principales que enfrentan las empresas industriales españolas en la actualidad son las siguientes:

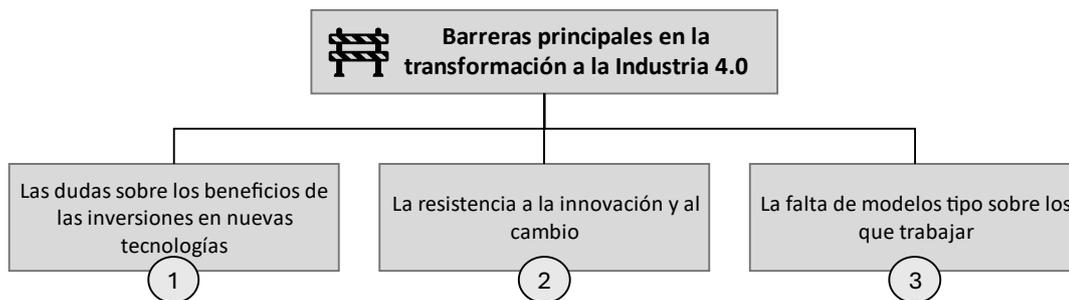


Figura 22. Barreras principales en la transformación a la Industria 4.0 en España [Elaboración propia]

### 3) Comparación de principales metodologías ágiles

Por otro lado, se ha identificado que las principales metodologías ágiles que existen son Scrum, Kanban, XP, Lean, Crystal, DSDM, ASD y FDD, y se ha elaborado la Tabla 2 que compara sus descripciones, principios del Manifiesto Agile con los que se alinean, limitaciones y ventajas.

Marco	Descripción	Principios del Manifiesto Agile	Limitaciones	Ventajas
Scrum	Marco de trabajo ágil centrado en la entrega iterativa y continua de productos o proyectos, con enfoque empírico y adaptabilidad a requisitos cambiantes	Comunicación continua, colaboración con el cliente, entrega frecuente, respuesta al cambio	Dependencia de la correcta implementación de roles y eventos; puede ser difícil de adoptar sin experiencia previa	Transparencia, mejora continua, autoorganización del equipo, alta adaptabilidad a cambios
Kanban	Sistema de programación visual para gestionar el trabajo con enfoque en la mejora continua, flujo constante y limitación del trabajo en proceso	Transparencia, mejora continua, entrega frecuente, adaptabilidad	Falta de estructura definida en roles y fases; puede ser menos efectivo sin un equipo disciplinado	Mejora de la eficiencia, reducción de desperdicios, adaptación fácil y rápida a cambios
XP	Metodología ágil centrada en potenciar las relaciones interpersonales, la comunicación fluida y la adaptabilidad continua a los cambios de requisitos	Alta calidad técnica, respuesta al cambio, colaboración continua, enfoque en individuos y su interacción	Requiere un alto nivel de disciplina y compromiso del equipo; puede ser difícil de implementar sin un buen entendimiento de las prácticas XP	Mejora de la calidad del código, colaboración estrecha con el cliente, adaptabilidad alta
Lean	Enfoque centrado en maximizar el valor para el cliente mediante la optimización de procesos y la eliminación de desperdicios	Valor para el cliente, entrega rápida y frecuente, mejora continua	Difícil de implementar sin un cambio cultural significativo de toda la organización; puede ser difícil de implementar en entornos con alta variabilidad de requisitos	Reducción de costos y tiempos de ciclo, aumento de la calidad y la satisfacción del cliente, mejora continua
Crystal	Una familia de metodologías que se adapta según el tamaño del equipo y la criticidad del proyecto	Adaptabilidad, interacción y colaboración, entrega frecuente, simplicidad	Falta de directrices específicas puede ser confusa, depende mucho del contexto del proyecto	Flexibilidad, adaptabilidad según el proyecto, enfoque en las personas
DSDM	Un enfoque ágil que proporciona una estructura robusta basada en principios claramente definidos y controlados	Entrega frecuente, colaboración con el cliente, respuesta al cambio, calidad	Puede ser percibido como restrictivo, requiere formación específica	Estructura clara, enfoque en la entrega dentro de los plazos y presupuestos
ASD	Un enfoque que enfatiza la adaptación continua del proceso de desarrollo en función de la retroalimentación del cliente	Colaboración continua, adaptabilidad, mejora continua, entrega frecuente	Puede ser percibido como poco estructurado, depende de la madurez del equipo	Alta adaptabilidad, enfoque en el aprendizaje y la mejora continua
FDD	Un proceso iterativo y centrado en el cliente, enfocado en el desarrollo de características específicas del producto	Desarrollo incremental, colaboración con el cliente, calidad, respuesta al cambio	Puede ser complejo de implementar en proyectos pequeños, depende de una buena definición inicial del modelo de dominio	Enfoque en características específicas, mejora continua basada en métricas

Tabla 1. Tabla comparativa de metodologías ágiles [Elaboración propia]

#### 4) Solución a las tres barreras principales detectadas en la Industria 4.0

Tras explorar la Industria 4.0 y las metodologías ágiles, se propone una solución basada en Agile para cada una de las barreras comunes en la transición a la Industria 4.0.

- Falta de modelos tipo:** La investigación ha identificado casos de éxito de empresas como Toyota, IBM, Microsoft, Amazon, y Spotify, que sirven como modelos a seguir para otras organizaciones. Estos casos proporcionan ejemplos claros y probados de cómo Agile puede ser utilizado para integrar tecnologías emergentes de manera efectiva. Además, se han utilizado estos casos y la información de la Tabla 1 para construir una tabla que sirva a las empresas de guía para saber qué tipo de proyectos se ajustan mejor a cada metodología ágil y qué casos de empresas conocidas existen que las utilicen:

Metodología	Tipo de proyectos	Casos
Scrum	Proyectos complejos con requisitos cambiantes; desarrollo de software; equipos pequeños y autónomos; entregas frecuentes y revisiones.	IBM, Microsoft, Amazon, Spotify, 3M España, Airbus España
Kanban	Proyectos con un flujo de trabajo continuo; mantenimiento y soporte; mejora continua; tareas repetitivas y operativas.	Toyota, Opel España, John Deere Ibérica
Lean	Proyectos que buscan eliminar desperdicios; procesos de producción y manufactura; mejora de eficiencia y reducción de costes.	Tesla, Spotify, Boeing, Opel España
XP	Desarrollo de software con énfasis en la calidad; implementación de módulos complejos; proyectos que requieren iteraciones rápidas y pruebas continuas; colaboración cercana con el cliente.	IBM, Microsoft, Amazon
Crystal	Proyectos pequeños a medianos con equipos distribuidos; flexibilidad en el proceso; énfasis en la comunicación y la adaptabilidad.	Amazon
DSDM	Proyectos con plazos estrictos y presupuestos fijos; desarrollo de sistemas y soluciones empresariales; enfoque en entregas rápidas y controladas.	No se han encontrado casos
ASD	Proyectos en entornos altamente inciertos; desarrollo de software en mercados cambiantes; énfasis en la adaptación continua y la colaboración.	No se han encontrado casos

FDD	Proyectos grandes y complejos; desarrollo de versiones de productos orientado a características; enfoque en la planificación y la documentación detallada.	Microsoft
-----	--	-----------

*Tabla 2. Resumen de casos de empresas que utilizan Agile [Elaboración propia]*

- **Resistencia a la innovación y al cambio:** Agile promueve una cultura de innovación y adaptación continua mediante sus principios y valores fundamentales, como la entrega continua de valor, la colaboración estrecha con los clientes y la respuesta rápida al cambio. La creación de equipos autoorganizados y empoderados fomenta la propiedad y el compromiso de los empleados, lo que reduce la resistencia al cambio. Los valores de Agile, como la apertura a nuevas ideas, la transparencia y la mejora continua, ayudan a cultivar un entorno donde el cambio es visto como una oportunidad en lugar de una amenaza.
- **Incertidumbre sobre los beneficios de las inversiones:** La adopción de Agile permite una evaluación continua y ajustes en las inversiones tecnológicas, reduciendo el riesgo y aumentando la eficiencia. Las empresas pueden realizar entregas incrementales y recibir retroalimentación constante, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre las inversiones.

De esta manera, se demuestra que la implementación de metodologías Agile tiene muchas sinergias con la Industria 4.0 y puede acelerar significativamente la adopción de tecnologías avanzadas en el sector industrial.

### 5) Plan de implementación de Scrum enfocado a IA y ML

Finalmente, se ha evidenciado el vínculo que existe entre el Machine Learning y la fabricación aditiva con Agile y se ha desarrollado una propuesta detallada por fases para la implementación de Scrum enfocado a la adopción de IA y ML, que incluye la creación de equipos multifuncionales, el establecimiento de ciclos de retroalimentación rápida y la adopción de herramientas de gestión Agile.

Este plan de implementación ha sido diseñado para facilitar una transición suave y eficiente de las empresas hacia la Industria 4.0, maximizando los beneficios de las tecnologías emergentes y minimizando los riesgos asociados.

Las fases de este plan se representan en la Figura 29 y se describe cada una en la Tabla 4.



Figura 29. Diagrama de plan de implementación de Scrum enfocado a IA+ML [Elaboración propia]

## 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### 6.1 Conclusiones

El análisis del alcance de las herramientas Agile en la Industria 4.0 en España revela varias conclusiones clave. En primer lugar, la implementación de metodologías Agile puede acelerar significativamente la adopción de tecnologías avanzadas en el sector industrial. Al promover la adaptabilidad y la colaboración, Agile facilita una respuesta rápida a los cambios tecnológicos y de mercado, lo que es esencial en el entorno dinámico de la Industria 4.0.

En segundo lugar, la integración de Agile en los procesos industriales ayuda a superar algunas de las principales barreras que enfrentan las empresas en su transición hacia la Industria 4.0. Para la falta de modelos tipo, se han identificado casos de éxito de empresas que utilizan Agile como Toyota, IBM, Microsoft o Amazon. Estos casos proporcionan ejemplos claros y probados que pueden servir de guía a otras empresas, reduciendo la incertidumbre y ofreciendo un camino más estructurado para la adopción de tecnologías emergentes.

Además, la resistencia al cambio y la incertidumbre sobre los beneficios de las inversiones en tecnologías emergentes pueden abordarse mediante la adopción del enfoque Agile. La cultura de innovación que fomenta agile facilita la adopción de nuevas tecnologías, y la entrega continua de valor y la retroalimentación frecuente permiten a las empresas evaluar y ajustar sus inversiones tecnológicas de manera más efectiva, reduciendo el riesgo y aumentando la eficiencia.

En resumen, la combinación de metodologías Agile con tecnologías de la Industria 4.0 no solo mejora la flexibilidad y la eficiencia de los procesos industriales, sino que también proporciona una base sólida para la innovación continua y la mejora del rendimiento. Este estudio demuestra que la sinergia entre Agile y la Industria 4.0 es un factor crucial para el éxito de la transformación digital en el sector industrial español.

## 6.2 Trabajo futuro

A pesar de los hallazgos significativos realizados sobre la aplicación de metodologías 4.0 en la Industria 4.0, este trabajo presenta algunas limitaciones que deben ser abordadas en investigaciones futuras.

Una de las principales limitaciones de este trabajo es su enfoque exclusivamente cualitativo. Esta limitación se podría abordar utilizando un enfoque mixto que combine un análisis cualitativo como el de este trabajo junto con un análisis estadístico que reafirme los resultados y permita extraer conclusiones más objetivas y generalizables.

Otra gran limitación es la falta de estudios empíricos que validen los beneficios de la integración de Agile y la Industria 4.0 en diferentes contextos industriales. La mayoría de los datos y conclusiones presentados se basan en estudios de caso y revisiones literarias, lo que puede limitar la generalización de los resultados. Esta falta de casos reales ha sido especialmente relevante en el apartado sobre la falta de modelos tipo, en el que ha sido muy difícil encontrar en la literatura académica casos de empresas grandes que expliquen cómo utilizan metodologías ágiles.

Un área prometedora para la investigación futura es el estudio del vínculo entre el resto de los paradigmas y Agile. En este trabajo se ha identificado un vínculo entre Agile y la Inteligencia Artificial y el Machine Learning, así como la fabricación aditiva de hardware. Sin embargo, los datos empíricos sobre la integración de agile en esta última son muy escasos y seguramente se pueda encontrar mucha más evidencia investigando sobre el software que utiliza esta tecnología y la metodología que usan sus proveedores. Esta investigación también podría extenderse al resto de paradigmas que se han visto en este trabajo como los robots autónomos o el digital twin, o incluso otros paradigmas que no se han tratado en este trabajo como el Big Data o el IoT.

Además, la investigación futura podría explorar en mayor profundidad cómo las empresas pueden superar las barreras culturales y organizacionales asociadas con la implementación de metodologías Agile. La resistencia al cambio y las dudas sobre la rentabilidad de las inversiones en las tecnologías 4.0 son desafíos significativos que requieren estrategias específicas de gestión del cambio y capacitación.

También sería valioso examinar el alcance de las herramientas ágiles en otros países que no sean España. En este trabajo se ha analizado la evolución de la Industria 4.0 y las barreras que presenta en España, pero se podría estudiar la industria de otros países y compararlas con el caso de España.

Finalmente, en el contexto de la evolución industrial, también es crucial considerar la propuesta de la Industria 5.0, que se centra en la colaboración entre humanos y máquinas, combinando la eficiencia de las tecnologías avanzadas con el ingenio humano para crear un entorno de trabajo más sostenible y centrado en el bienestar. La Industria 5.0 promete personalización a gran escala y una mayor interacción entre robots y trabajadores humanos. Futuras investigaciones deberían analizar cómo las metodologías Agile pueden facilitar esta colaboración y adaptarse a los nuevos paradigmas de la Industria 5.0, asegurando que las empresas puedan aprovechar tanto la innovación tecnológica como el valor humano de manera óptima.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Abrahamsson, P., Salo, O., Ronkainen, J., & Warsta, J. (2017). Agile software development methods: Review and analysis. Recuperado de: <https://arxiv.org/pdf/1709.08439>
- Ahmad, M. O., Markkula, J., & Oivo, M. (2013, September). Kanban in software development: A systematic literature review. In *2013 39th Euromicro conference on software engineering and advanced applications* (pp. 9-16). IEEE. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6619482>
- Akpan, I. J., & Offodile, O. F. (2024). The Role of Virtual Reality Simulation in Manufacturing in Industry 4.0. *Systems*, *12*(1), 26.
- Alkhoraf, A., Rashid, H., & McLaughlin, P. (2019). Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review. *Operations Research Perspectives*, *6*, 100089.
- Alqudah, M., & Razali, R. (2016). A review of scaling agile methods in large software development. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, *6*(6), 828-837.
- Al-Saqqah, S., Sawalha, S., & AbdelNabi, H. (2020). Agile software development: Methodologies and trends. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *14*(11). Recuperado de: <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/13269/7405>
- Altameem, E. A. (2015). Impact of agile methodology on software development. *Computer and Information Science*, *8*(2), 9.
- Anwer, F., Aftab, S., Waheed, U., & Muhammad, S. S. (2017). Agile software development models tdd, fdd, dsdm, and crystal methods: A survey. *International journal of multidisciplinary sciences and engineering*, *8*(2), 1-10.
- Aroral, H. K. (2021). Waterfall process operations in the fast-paced world: project management exploratory analysis. *International Journal of Applied Business and Management Studies*, *6*(1), 91-99.
- Baran, B. E., & Woznyj, H. M. (2020). Managing VUCA: The human dynamics of agility. *Organizational dynamics*. doi: 10.1016/j.orgdyn.2020.100787

- Beck, K., Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., ... & Thomas, D. (2001). Manifesto for agile software development.
- Blakey-Milner, B., Gradl, P., Snedden, G., Brooks, M., Pitot, J., Lopez, E., ... & Du Plessis, A. (2021). Metal additive manufacturing in aerospace: A review. *Materials & Design*, 209, 110008.
- Campanelli, A. S., & Parreiras, F. S. (2015). Agile methods tailoring—A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 110, 85-100.
- Choudhary, B., & Rakesh, S. K. (2016). An approach using agile method for software development. In *2016 International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH)* (pp. 155-158). IEEE.
- Chowdhury, A. F., & Huda, M. N. (2011). Comparison between adaptive software development and feature driven development. In *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology* (Vol. 1, pp. 363-367). IEEE.
- Cockburn, A. (2006). *Agile software development: the cooperative game*. Pearson Education.
- Cruz, A., & Alves, A. C. (2020). Traditional, agile and lean project management-A systematic literature review. *The Journal of Modern Project Management*, 8(2).
- Daum, T. (2022). Agile Methods on the Shop Floor: Towards a "Tesla Production System"?
- Denning, S. (2019). How Amazon practices the three laws of Agile management. *Strategy & Leadership*, 47(5), 36-41.
- Denning, S. (2019). Lessons learned from mapping successful and unsuccessful Agile transformation journeys. *Strategy & Leadership*, 47(4), 3-11.
- Dikert, K., Paasivaara, M., & Lassenius, C. (2016). Challenges and success factors for large-scale agile transformations: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 119, 87-108.
- Dragičević, Z., & Bošnjak, S. (2020, November). Agile Development Process in The Software Factory of the Future. In *International Scientific Conference Strategic Management and Decision Support Systems in Strategic Management*.

- Dudziak, T. (2000). Extreme programming an overview. *Methoden und Werkzeuge der Softwareproduktion WS, 1999(1)*, 28.
- Fowler, M., & Highsmith, J. (2001). The agile manifesto. *Software development*, 9(8), 28-35.
- Fragapane, G., De Koster, R., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2021). Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda. *European Journal of Operational Research*, 294(2), 405-426.
- Gandomani, T. J., & Nafchi, M. Z. (2016). Agile transition and adoption human-related challenges and issues: A Grounded Theory approach. *Computers in Human Behavior*, 62, 257-266.
- Gartner. (s.f.). Hype Cycle de Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.es/es/metodologias/hype-cycle>  
[Fecha de acceso: 6 de abril de 2024]
- Gartner. (2023). Hype Cycle for Artificial Intelligence, 2023. Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.com/interactive/hc/4543699?ref=solrAll&refval=405855441>
- Gartner. (2023). Hype Cycle for ERP, 2023. Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.com/interactive/hc/4522199?ref=solrAll&refval=408018525>
- Gartner. (2023). Hype Cycle for Frontline Worker Technologies, 2023. Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.com/interactive/hc/4607699?ref=explorehc>
- Gartner. (2023). Hype Cycle for I&O Automation, 2023. Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.com/interactive/hc/4530999?ref=solrAll&refval=405948447>
- Gartner. (2023). Hype Cycle for Mobile Robots and Drones, 2023. Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.com/interactive/hc/4536299?ref=solrAll&refval=405855948>
- Gartner. (2023). Hype Cycle for User Experience, 2023. Gartner. Recuperado de <https://www.gartner.com/document/4576199?ref=solrAll&refval=408022731&toggle=1&viewType=Full>
- Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17, pp. 1-21). Cham, Switzerland: Springer.

- Goel, R., & Gupta, P. (2020). Robotics and industry 4.0. *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*, 157-169.
- Grau, A., Indri, M., Bello, L. L., & Sauter, T. (2020). Robots in industry: The past, present, and future of a growing collaboration with humans. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(1), 50-61.
- Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 464-471.
- Habehh, H., & Gohel, S. (2021). Machine learning in healthcare. *Current genomics*, 22(4), 291.
- Haines, T., Idemudia, E. C., & Raisinghani, M. S. (2017). The conceptual model for agile tools and techniques. *American Journal of Management*, 17(3), 77-88.
- Hanslo, R., & Tanner, M. (2020, September). Machine learning models to predict agile methodology adoption. In *2020 15th Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (pp. 697-704). IEEE.
- Highsmith, J. (2013). *Adaptive software development: a collaborative approach to managing complex systems*. Addison-Wesley.
- Hoda, R., Noble, J., & Marshall, S. (2012). Self-organizing roles on agile software development teams. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 39(3), 422-444.
- Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. *Expert Systems with Applications*, 216, 119456.
- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.
- Japan Management Association. (2018). *KANBAN: Y Just-in-time en Toyota*. Routledge.
- Javaid, M., Haleem, A., & Suman, R. (2023). Digital twin applications toward industry 4.0: A review. *Cognitive Robotics*, 3, 71-92.

- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP journal of manufacturing science and technology*, 29, 36-52.
- Kumar, G., & Bhatia, P. K. (2012). Impact of agile methodology on software development process. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE)*, 2(4), 46-50.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6, 239-242.
- LEANDigital. (2024). *El Modelo LEAN Digital*. Recuperado de: <https://leandigital.es/>
- Letelier, P., & Penadés, M. C. (2012). Metodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming (XP). *Universidad Politécnica de Valencia*, 17.
- Manifesto, A. (2001). Manifiesto for agile software development. Disponible en: <https://agilemanifesto.org/>
- Medeiros, J., Vasconcelos, A., Silva, C., & Goulão, M. (2020). Requirements specification for developers in agile projects: Evaluation by two industrial case studies. *Information and Software Technology*, 117, 106194.
- Montero, J., Atzberger, A., Bleckmann, M., Holtmannspötter, J., & Paetzold, K. (2019, February). Enhancing the Additive Manufacturing process for spare parts by applying Agile Hardware Development principles. In *2019 IEEE 10th international conference on mechanical and intelligent manufacturing technologies (ICMIMT)* (pp. 109-116). IEEE.
- Montero, J., Weber, S., Bleckmann, M., Atzberger, A., Wirths, L., & Paetzold, K. (2019, June). Spare part production in remote locations through Additive Manufacturing enhanced by agile development principles. In *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (pp. 1-8). IEEE.
- Morales Méndez, G., & del Cerro Velázquez, F. (2024). Augmented Reality in Industry 4.0 Assistance and Training Areas: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis. *Electronics*, 13(6), 1147.

- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological forecasting and social change*, 132, 2-17.
- Observatorio de la Industria 4.0. (2018). Smart Industry 4.0. Recuperado de <https://observatorioindustria.org/wp-content/uploads/2023/11/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Observatorio de la Industria 4.0. (2019). Smart Industry 4.0. Recuperado de <https://observatorioindustria.org/wp-content/uploads/2023/11/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Observatorio de la Industria 4.0. (2020). Smart Industry 4.0. Recuperado de <https://observatorioindustria.org/wp-content/uploads/2023/11/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Observatorio de la Industria 4.0. (2021). Smart Industry 4.0. Recuperado de <https://observatorioindustria.org/wp-content/uploads/2023/11/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Observatorio de la Industria 4.0. (2022). Smart Industry 4.0. Recuperado de <https://observatorioindustria.org/wp-content/uploads/2023/11/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Observatorio de la Industria 4.0. (2023). Smart Industry 4.0. Recuperado de <https://observatorioindustria.org/wp-content/uploads/2023/11/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Omidvarkarjan, D. (2024). *Enhancing the Adoption of Additive Manufacturing in Industry using Principles of Agile Hardware Development* (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
- Oreg, S. (2006). Personality, context, and resistance to organizational change. *European journal of work and organizational psychology*, 15(1), 73-101.
- Ottogalli, K., Rosquete, D., Rojo, J., Amundarain, A., Maria Rodriguez, J., & Borro, D. (2021). Virtual reality simulation of human-robot coexistence for an aircraft final assembly line: process evaluation and ergonomics assessment. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(9), 975-995.
- Palmer, S. R., & Felsing, M. (2001). *A practical guide to feature-driven development*. Pearson Education.
- Perkusich, M., e Silva, L. C., Costa, A., Ramos, F., Saraiva, R., Freire, A., ... & Perkusich, A. (2020). Intelligent software engineering in the context of agile software development: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 119, 106241.

- Phillips, M. (1999). Agile manufacturing in the aerospace industry: an industrial viewpoint. *International Journal of Agile Management Systems*, 1(1), 17-22.
- Poppendieck, M., & Poppendieck, T. (2003). *Lean software development: An agile toolkit: An agile toolkit*. Addison-Wesley.
- Randall, R. (2014). Agile at IBM: software developers teach a new dance step to management. *Strategy & Leadership*, 42(2), 26-29.
- Reichwein, J., Vogel, S., Schork, S., & Kirchner, E. (2020). On the applicability of agile development methods to design for additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 91, 653-658.
- Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T., & Paiva, S. (2021). Robotic process automation and artificial intelligence in industry 4.0—a literature review. *Procedia Computer Science*, 181, 51-58.
- Rocamora Montoro, P. (2022). Análisis sobre la Aplicación de Metodologías Ágiles en la Gestión de Proyectos en Ingeniería Industrial.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International journal of interactive mobile technologies*, 11(5).
- Sachdeva, S. (2016). Scrum Methodology. *Int. J. Eng. Comput. Sci*, 5(16792), 16792-16800.
- Salameh, A., & Bass, J. M. (2020, April). Heterogeneous tailoring approach using the spotify model. In *Proceedings of the 24th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (pp. 293-298). Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3383219.3383251>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2013). La guía de Scrum. *Scrumguides. Org*, 1, 21.
- Shama, P. S., & Shivamant, A. (2015). A review of agile software development methodologies. *International Journal of Advanced Studies in Computers, Science and Engineering*, 4(11), 1.
- Sheoran, A. J., Kumar, H., Arora, P. K., & Moona, G. (2020). Bio-medical applications of additive manufacturing: a review. *Procedia Manufacturing*, 51, 663-670.

- Srivastava, A., Bhardwaj, S., & Saraswat, S. (2017, May). SCRUM model for agile methodology. In *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 864-869). IEEE.
- Stavru, S. (2014). A critical examination of recent industrial surveys on agile method usage. *Journal of Systems and Software, 94*, 87-97.
- Vanichchinchai, A. (2022). The effects of the Toyota Way on agile manufacturing: an empirical analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management, 33*(8), 1450-1472.
- Vázquez-Bustelo, D., & Avella, L. (2006). Agile manufacturing: Industrial case studies in Spain. *Technovation, 26*(10), 1147-1161.
- Voigt, B. J., Glinz, M., & Seybold, D. I. C. (2004). Dynamic system development method. *no. January*.
- Wakode, R. B., Raut, L. P., & Talmale, P. (2015). Overview on kanban methodology and its implementation. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development, 3*(02), 2321-0613.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society, 48*(11), 1148-1148.
- Wu, T., He, S., Liu, J., Sun, S., Liu, K., Han, Q. L., & Tang, Y. (2023). A brief overview of ChatGPT: The history, status quo and potential future development. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 10*(5), 1122-1136. <https://doi.org/10.1109/JAS.2023.123618>
- Wu, Y., Schuster, M., Chen, Z., Le, Q. V., Norouzi, M., Macherey, W., ... & Dean, J. (2016). Google's neural machine translation system: Bridging the gap between human and machine translation. *arXiv preprint arXiv:1609.08144*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1609.08144>
- Zhao, X., Oseni, T., & Medishetty, B. T. (2022, October). Overview of Business Hyper-automation. In *2022 IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)* (pp. 100-105). IEEE.  
Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10035081>
-

## **ANEXO: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)**

El presente trabajo sobre el alcance de las herramientas Agile en la Industria 4.0 en España se alinea estrechamente con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. A continuación, se identifican los ODS pertinentes, se proporciona una breve descripción de cada uno y se explica cómo este trabajo contribuye a su cumplimiento.

### **❖ ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**

El ODS 9 busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. En el contexto de este trabajo, la implementación de metodologías Agile en las empresas industriales españolas facilita la adaptación y modernización de sus procesos, promoviendo así la innovación y mejorando su capacidad para enfrentar los desafíos de la Industria 4.0. Al adoptar prácticas ágiles, las organizaciones pueden agilizar la implementación de nuevas tecnologías, optimizar la producción y mejorar su competitividad en un mercado global en constante evolución.

### **❖ ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico**

El ODS 8 promueve un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos. La adopción de metodologías Agile en el sector industrial español puede generar un impacto significativo en la creación de empleo y el desarrollo de habilidades. Al mejorar la eficiencia y la capacidad de adaptación de las empresas, se promueve la creación de empleo de calidad y se fomenta un entorno laboral más inclusivo y dinámico.

### **❖ ODS 12: Producción y Consumo Responsables**

El ODS 12 se centra en garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. La implementación de metodologías Agile permite a las empresas optimizar sus procesos de producción, reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia energética, contribuyendo así a una producción más sostenible. Además, al adoptar un enfoque ágil, las organizaciones pueden

responder de manera más rápida y efectiva a las demandas cambiantes del mercado, reduciendo la sobreproducción y minimizando el impacto ambiental asociado.

#### ❖ **ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos**

El ODS 17 enfatiza la necesidad de revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible. La transformación hacia la Industria 4.0 requiere la colaboración entre diversas partes interesadas, incluyendo gobiernos, sector privado y sociedad civil. Este trabajo subraya cómo las metodologías Agile facilitan estas alianzas al promover una comunicación abierta y efectiva entre todas las partes involucradas, fomentando así la compartición de conocimientos, recursos y mejores prácticas, esenciales para abordar los desafíos de la industria moderna y avanzar hacia un desarrollo sostenible.

En conclusión, la integración de las metodologías ágiles y la transformación hacia la Industria 4.0 no solo favorece la innovación y la eficiencia, sino que también contribuye directamente a la consecución de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible. Reconocer y cumplir con estos ODS es fundamental para asegurar un desarrollo económico, social y ambientalmente sostenible a nivel global. Por tanto, es imperativo que las empresas, gobiernos y sociedad trabajen juntos en este esfuerzo, aprovechando las sinergias y beneficios que surgen de la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.