



# MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Diseño de un modelo estratégico flexible y sostenible  
aplicado en una empresa industrial mediante la  
integración de la Inteligencia Artificial (IA) e Internet  
Industrial de las Cosas (IIoT)

Autor: Marta García Barrio

Director: Andrés Fernández Miguel

Co-Director: Davide Settembre Blundo

Madrid

Mayo de 2026

## Declaración de originalidad

Declaro bajo mi responsabilidad que el Proyecto presentado con el título Diseño de un modelo estratégico flexible y sostenible aplicado en una empresa industrial mediante la integración de la Inteligencia Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) de la ETS de Ingeniería – ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 7ºMII+ADE es de mi autoría y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

## Uso de Inteligencia Artificial<sup>1</sup>

Declaro bajo mi responsabilidad que:

He utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento y/o del Anexo B siempre en las condiciones permitidas por la Universidad Pontificia Comillas, es decir, aplicando el Nivel 2 de la [Escala de Evaluación de Perkins et al. \(2024\)](#): *“La IA puede utilizarse para actividades previas a la tarea, como la lluvia de ideas, la descripción y la investigación inicial. Este nivel se centra en el uso de la IA para la planificación, las síntesis y la generación de ideas, pero las evaluaciones deben hacer hincapié en la capacidad de desarrollar y refinar estas ideas de forma independiente”*. En concreto, la Inteligencia Artificial ha sido empleada para:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
3. **Metodólogo:** Para descubrir métodos aplicables a problemas específicos de investigación.

---

<sup>1</sup> Esta declaración se refiere al uso de la Inteligencia Artificial generativa para realizar los documentos del Proyecto (Anexo B y Memoria). No aplica a Proyectos donde, por su naturaleza, deban emplear inteligencia artificial como parte de los mismos (aplicación de técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de datos...)

4. **Constructor de plantillas:** Para diseñar formatos específicos para secciones del trabajo.
5. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
6. **Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
7. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
8. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.


*Marta García Barrio*

Firmado (alumno): Marta García Barrio

Fecha: 27 Junio 2026

**Autorización para la entrega del Proyecto**

| El Director del Proyecto | El co-Director del Proyecto (si aplica) |
|--------------------------|---|
|                          |   |

|   |                              |
|---|------------------------------|
|  |                              |
| Fdo: Andrés Fernández Miguel  | Fdo: Davide Settembre Blundo |
| Fecha: 26 junio 2026  | Fecha: 27 junio 2026         |



# MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Diseño de un modelo estratégico flexible y sostenible  
aplicado en una empresa industrial mediante la  
integración de la Inteligencia Artificial (IA) e Internet  
Industrial de las Cosas (IIoT)

Autor: Marta García Barrio

Director: Andrés Fernández Miguel

Co-Director: Davide Settembre Blundo

Madrid

Mayo de 2026

Marta  
García  
Barrio

**Diseño de un modelo estratégico flexible y  
sostenible aplicado en una empresa industrial  
mediante la integración de la Inteligencia  
Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas**

## Tabla de Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Resumen .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Palabras clave .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Key words .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Índice de figuras y tablas .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1. Introducción .....</b>  | <b>10</b> |
| 1.1 Contexto y motivación del estudio .....   | 12        |
| 1.2 Planteamiento del problema de investigación.....  | 13        |
| 1.3 Pregunta de investigación y objetivos.....  | 15        |
| 1.4 Estructura del trabajo.....   | 16        |
| <b>2. Marco teórico y estado del arte.....</b>  | <b>19</b> |
| 2.1 Transformación digital industrial e Industria 6.0 como contexto teórico del modelo..... | 19        |
| 2.2 Dimensión tecnológica: IA e IIoT como habilitadores de la transformación digital .....  | 22        |
| 2.3 Dimensión organizativa: capacidades dinámicas e integración estratégica ...             | 29        |
| 2.4 Dimensión humana: centralidad humana digital .....                                      | 38        |
| 2.5 Sostenibilidad y resiliencia como resultados estratégicos .....                         | 46        |
| 2.6 Relaciones teóricas, constructos y proposiciones del modelo .....                       | 53        |
| 2.7 Síntesis del marco teórico y gap de investigación .....                                 | 58        |
| <b>3. Metodología .....</b>   | <b>61</b> |
| 3.1 Enfoque metodológico .....  | 61        |
| 3.2 Estrategia de búsqueda y selección de literatura .....                                  | 62        |
| 3.3 Procedimiento de análisis de la literatura .....  | 64        |
| 3.4 Desarrollo del modelo estratégico .....   | 65        |
| <b>4. Resultados: diseño del modelo estratégico flexible y sostenible .....</b>             | <b>67</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 4.1 Lógica general del modelo.....  | 67         |
| 4.2 Representación gráfica del modelo estratégico.....  | 69         |
| 4.3 Componentes del modelo.....   | 71         |
| 4.4 Resultados estratégicos del modelo.....   | 76         |
| 4.5 Funcionamiento dinámico del modelo.....   | 79         |
| 4.6 Condiciones de implementación y sistema de indicadores.....                                 | 81         |
| <b>5. Discusión de resultados.....</b>  | <b>86</b>  |
| 5.1. Aportación frente a enfoques tecnocéntricos.....   | 86         |
| 5.2 Papel de las capacidades organizativas y humanas.....                                       | 87         |
| 5.3 Contribución al enfoque de Industria 6.0.....   | 89         |
| 5.4 Implicaciones para empresas industriales.....   | 90         |
| 5.5 Síntesis de la discusión.....   | 91         |
| <b>6. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....</b>                                   | <b>93</b>  |
| 6.1. Conclusiones del trabajo.....  | 93         |
| 6.2 Revisión del cumplimiento de los objetivos.....   | 94         |
| 6.3 Limitaciones del trabajo.....   | 95         |
| 6.4 Futuras líneas de investigación.....  | 96         |
| 6.5 Cierre del trabajo.....   | 97         |
| <b>7. Bibliografía.....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>ANEXO 1. Alineamiento del modelo IloT–AI con los ODS a nivel de metas e indicadores.....</b> | <b>105</b> |

## **Resumen**

### **Contexto y problemática**

La industria manufacturera atraviesa un proceso de transformación impulsado por la digitalización, la automatización avanzada y la integración de tecnologías inteligentes dentro de los sistemas productivos. En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se han consolidado como tecnologías clave para mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones y la capacidad adaptativa de las organizaciones industriales.

Sin embargo, muchas iniciativas de digitalización continúan desarrollándose de forma fragmentada y con escasa integración entre las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. Esta situación limita la capacidad de adaptación, la resiliencia y la generación de valor sostenible dentro de los sistemas industriales.

En respuesta a esta problemática, el presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo diseñar un modelo estratégico para integrar IA e IIoT en empresas industriales bajo los principios emergentes de la Industria 6.0.

### **Objetivos del trabajo**

El objetivo general del estudio consiste en desarrollar un modelo estratégico capaz de orientar la adopción de IA e IIoT en empresas industriales, favoreciendo la sostenibilidad y la resiliencia mediante la integración de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas.

Para ello, el trabajo plantea objetivos relacionados con el análisis de los paradigmas industriales emergentes, la identificación de los principales constructos asociados a la transformación digital industrial y el estudio de las relaciones existentes entre tecnología, organización, personas y resultados estratégicos.

Asimismo, se propone un modelo conceptual orientado a explicar cómo la integración de estas capacidades puede contribuir a la creación de valor sostenible dentro de la empresa industrial.

### **Metodología**

La investigación adopta un enfoque conceptual y exploratorio basado en una revisión sistematizada de literatura científica especializada relacionada con transformación

digital industrial, Industria 5.0, Industria 6.0, IA industrial, IloT, capacidades dinámicas, sostenibilidad y resiliencia.

La búsqueda bibliográfica se realizó principalmente en bases de datos científicas como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect y SpringerLink, priorizando artículos revisados por pares publicados entre 2015 y 2026.

A partir del análisis realizado, se identificaron tres capacidades habilitadoras principales: capacidad tecnológica inteligente, capacidad organizativa adaptativa y centralidad humana digital, así como dos resultados estratégicos asociados a la transformación digital industrial: sostenibilidad estratégica y resiliencia operativa.

### **Desarrollo del modelo estratégico**

El modelo estratégico desarrollado se fundamenta en la interacción entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. La propuesta considera la IA y el IloT como habilitadores tecnológicos que proporcionan conectividad, información e inteligencia operativa, mientras que las capacidades organizativas y humanas actúan como mecanismos de integración que permiten transformar dichas capacidades en resultados estratégicos.

Asimismo, el modelo adopta una perspectiva alineada con los principios de la Industria 5.0 y la Industria 6.0, incorporando sostenibilidad, resiliencia y centralidad humana como elementos esenciales de la transformación digital industrial.

### **Resultados y aportaciones**

Los resultados del estudio muestran que la integración efectiva de IA e IloT requiere una visión estratégica capaz de conectar capacidades tecnológicas, organizativas y humanas dentro de una misma lógica de transformación digital.

El modelo desarrollado aporta una aproximación integradora que supera enfoques centrados exclusivamente en automatización y tecnología, incorporando explícitamente sostenibilidad, resiliencia y centralidad humana como elementos esenciales del proceso de transformación.

Asimismo, el trabajo contribuye al desarrollo conceptual de la Industria 6.0 mediante una propuesta simplificada y adaptable orientada a la creación de valor sostenible dentro de entornos industriales complejos y dinámicos.

## **Conclusiones**

El estudio pone de manifiesto que la transformación digital industrial debe abordarse como un proceso estratégico y organizativo, y no únicamente como una cuestión tecnológica.

La integración de IA e IIoT solo genera sostenibilidad y resiliencia cuando se articula mediante capacidades organizativas y humanas capaces de transformar los datos y la inteligencia operativa en decisiones, aprendizaje y adaptación continua.

En consecuencia, el modelo estratégico desarrollado constituye una propuesta coherente y adaptable para orientar procesos de transformación digital industrial alineados con los principios emergentes de la Industria 6.0.

## **Palabras clave**

Industria 6.0; transformación digital industrial; inteligencia artificial; Internet Industrial de las Cosas (IIoT); sostenibilidad estratégica; resiliencia operativa; capacidades dinámicas; gobernanza del dato; centralidad humana digital; transformación digital.

## **Abstract**

### **Context and research problem**

The manufacturing industry is undergoing a profound transformation driven by digitalisation, advanced automation and the integration of intelligent technologies into production systems. In this context, Artificial Intelligence (AI) and the Industrial Internet of Things (IIoT) have become key technologies for improving operational efficiency, decision-making and organisational adaptability.

However, many digitalisation initiatives continue to be implemented in a fragmented manner, with limited integration between technological, organisational and human capabilities. This situation restricts organisations' ability to adapt, strengthen resilience and generate sustainable value in increasingly complex industrial environments.

In response to this challenge, the main objective of this Master's Thesis is to design a strategic model for integrating AI and IIoT into industrial companies under the emerging principles of Industry 6.0.

### **Objectives of the study**

The main objective of the study is to develop a strategic model capable of guiding the adoption of AI and IIoT in industrial companies while promoting sustainability and resilience through the integration of technological, organisational and human capabilities.

To achieve this objective, the research analyses emerging industrial paradigms, identifies the main constructs associated with industrial digital transformation and examines the relationships between technology, organisation, people and strategic outcomes.

Furthermore, the study proposes a conceptual model aimed at explaining how the integration of these capabilities can contribute to sustainable value creation within industrial organisations.

### **Methodology**

The research adopts a conceptual and exploratory approach based on a systematised review of specialised scientific literature related to industrial digital transformation,

Industry 5.0, Industry 6.0, industrial AI, IIoT, dynamic capabilities, sustainability and resilience.

The literature review was conducted mainly through scientific databases such as Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect and SpringerLink, prioritising peer-reviewed publications published between 2015 and 2026.

Based on the analysis, three main enabling capabilities were identified: intelligent technological capability, adaptive organisational capability and digital human centricity. In addition, two strategic outcomes associated with industrial digital transformation were identified: strategic sustainability and operational resilience.

### **Proposed strategic model**

The strategic model developed in this study is based on the interaction between technological, organisational and human capabilities. The proposal considers AI and IIoT as technological enablers that provide connectivity, information and operational intelligence, while organisational and human capabilities act as integration mechanisms that transform these capabilities into strategic outcomes.

Moreover, the model adopts a perspective aligned with the principles of Industry 5.0 and Industry 6.0, incorporating sustainability, resilience and human centricity as essential elements of industrial digital transformation.

### **Results and contributions**

The results show that the effective integration of AI and IIoT requires a strategic approach capable of connecting technological, organisational and human capabilities within the same digital transformation logic.

The proposed model provides an integrative perspective that goes beyond traditional technology-centred approaches by explicitly incorporating sustainability, resilience and human centricity as key elements of the transformation process.

Furthermore, the study contributes to the conceptual development of Industry 6.0 by proposing a simplified and adaptable framework aimed at creating sustainable value in complex and dynamic industrial environments.

### **Conclusions**

The study demonstrates that industrial digital transformation should be understood as a strategic and organisational process rather than solely as a technological issue.

The integration of AI and IIoT only generates sustainability and resilience when supported by organisational and human capabilities capable of transforming data and operational intelligence into decisions, learning and continuous adaptation.

Consequently, the strategic model developed constitutes a coherent and adaptable proposal for guiding industrial digital transformation processes aligned with the emerging principles of Industry 6.0.

### **Key words**

Industry 6.0; industrial digital transformation; artificial intelligence; Industrial Internet of Things (IIoT); strategic sustainability; operational resilience; dynamic capabilities; data governance; digital human centricity; digital transformation.

## Índice de figuras y tablas

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Planteamiento del problema y gap de investigación .....                            | 15 |
| Figura 2: Estructura del Trabajo Fin de Máster .....   | 17 |
| Figura 3: Capacidades dinámicas en la transformación digital .....                           | 32 |
| Figura 4: Procedimiento de análisis de la literatura y construcción del modelo .....         | 65 |
| Figura 5: Modelo estratégico para la integración de IA e IIoT en empresas industriales ..... | 69 |
| Figura 6: Funcionamiento dinámico del modelo estratégico .....                               | 81 |
| <br>   |    |
| Tabla 1: Evolución de los paradigmas industriales hacia la Industria 6.0.....                | 11 |
| Tabla 2: Evolución de los paradigmas industriales .....                                      | 21 |
| Tabla 3: Elementos asociados al constructo capacidad tecnológica inteligente .....           | 28 |
| Tabla 4: Elementos asociados al constructo capacidad organizativa adaptativa .....           | 37 |
| Tabla 5: Elementos asociados al constructo centralidad humana digital .....                  | 45 |
| Tabla 6: Sostenibilidad y resiliencia como resultados estratégicos del modelo .....          | 52 |
| Tabla 7: Constructos principales del modelo.....   | 54 |
| Tabla 8: Estrategia de búsqueda de literatura.....   | 63 |
| Tabla 9: Papel de los elementos tecnológicos dentro del modelo.....                          | 72 |
| Tabla 10: Papel de los elementos organizativos dentro del modelo .....                       | 74 |
| Tabla 11: Papel de los elementos humanos dentro del modelo .....                             | 76 |
| Tabla 12: Condiciones para la implementación del modelo estratégico.....                     | 83 |
| Tabla 13: Indicadores de evaluación del modelo estratégico.....                              | 84 |

## 1. Introducción

La transformación digital se ha consolidado como uno de los principales motores de cambio en la industria manufacturera contemporánea. La incorporación de tecnologías digitales avanzadas ha permitido desarrollar sistemas productivos cada vez más conectados, automatizados e inteligentes, capaces de mejorar la eficiencia operativa, optimizar procesos y facilitar la toma de decisiones basada en datos (Xu et al., 2018; Verhoef et al., 2021). En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) destacan como dos de las tecnologías más relevantes para impulsar la evolución de los sistemas industriales hacia modelos más flexibles y adaptativos (Lee et al., 2018).

Sin embargo, la transformación digital industrial no depende únicamente de la adopción de nuevas tecnologías. Diversos estudios señalan que muchas iniciativas de digitalización no alcanzan los resultados esperados debido a la falta de integración entre las capacidades tecnológicas, los procesos organizativos y las personas que forman parte de la organización (Vial, 2019; Warner y Wäger, 2019). Como consecuencia, numerosas empresas continúan desarrollando proyectos digitales de forma fragmentada, centrados en aplicaciones tecnológicas concretas pero desvinculados de una estrategia global de transformación.

Esta situación ha favorecido una evolución de los paradigmas industriales hacia enfoques más integradores. Mientras que la Industria 4.0 se centró principalmente en la automatización, la conectividad y la digitalización de los procesos productivos, la Industria 5.0 incorporó conceptos como sostenibilidad, resiliencia y centralidad humana como elementos esenciales del desarrollo industrial (European Commission, 2021; Nahavandi, 2019). Sobre esta evolución emerge la Industria 6.0, entendida como un enfoque orientado a integrar inteligencia tecnológica, adaptación organizativa, aprendizaje continuo y creación de valor sostenible dentro de sistemas industriales cada vez más complejos y dinámicos (Fernández-Miguel et al., 2025; Verma et al., 2025).

Con el fin de contextualizar esta evolución, la Tabla 1 resume las principales características de los paradigmas industriales más recientes y su contribución al desarrollo de sistemas industriales inteligentes y sostenibles

**Tabla 1: Evolución de los paradigmas industriales hacia la Industria 6.0**

| Paradigma            | Enfoque                             | Tecnologías   | Características  |
|----------------------|-------------------------------------|---|--|
| <b>Industria 4.0</b> | Digitalización y automatización     | IIoT, inteligencia artificial, sistemas ciberfísicos, Big Data      | Interconexión de sistemas, fábricas inteligentes, toma de decisiones basada en datos         |
| <b>Industria 5.0</b> | Centralidad humana y sostenibilidad | IA colaborativa, robótica colaborativa (cobots), tecnologías verdes | Human-centric, resiliencia, sostenibilidad, colaboración humano-máquina                      |
| <b>Industria 6.0</b> | Sistemas cognitivos y adaptativos   | IA avanzada, ecosistemas de datos, automatización cognitiva         | Autonomía, aprendizaje continuo, integración total entre tecnología, organización y personas |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Liao et al. (2017), Xu et al. (2018), Nahavandi (2019), European Commission (2021) y Verma et al. (2025).

Como se observa en la Tabla 1, la evolución de los paradigmas industriales refleja una transición desde enfoques centrados principalmente en la automatización hacia modelos que incorporan sostenibilidad, resiliencia y capacidades adaptativas. Esta evolución pone de manifiesto que el valor de las tecnologías digitales no reside únicamente en sus capacidades técnicas, sino en la forma en que se integran dentro de la organización y contribuyen a la creación de valor a largo plazo.

En este contexto, la integración estratégica de IA e IIoT adquiere una relevancia especial. Estas tecnologías permiten capturar datos, generar inteligencia operativa y mejorar la capacidad de respuesta de los sistemas productivos, pero su impacto depende de la existencia de capacidades organizativas y humanas que faciliten su adopción y utilización efectiva. Por ello, la transformación digital industrial debe entenderse como un proceso de integración entre tecnología, organización y personas, orientado a mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de la empresa industrial.

A partir de esta premisa, el presente Trabajo Fin de Máster propone el diseño de un modelo estratégico para la integración de IA e IIoT en empresas industriales bajo los principios de la Industria 6.0. El objetivo es desarrollar una propuesta capaz de

conectar capacidades tecnológicas, organizativas y humanas con resultados estratégicos de sostenibilidad y resiliencia, proporcionando una visión integrada de la transformación digital industrial.

### **1.1 Contexto y motivación del estudio**

El entorno industrial actual se caracteriza por elevados niveles de complejidad, incertidumbre y presión competitiva derivados de la globalización de los mercados, la aceleración tecnológica y las crecientes exigencias en materia de sostenibilidad. En este contexto, las empresas manufactureras necesitan desarrollar capacidades que les permitan adaptarse con rapidez a cambios tecnológicos, fluctuaciones en la demanda y disrupciones cada vez más frecuentes en las cadenas de suministro (Ivanov, 2022).

La transformación digital se ha convertido en una de las principales respuestas a estos desafíos. La incorporación de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), los sistemas ciberfísicos o la analítica avanzada ha permitido mejorar la visibilidad de los procesos, incrementar la automatización y desarrollar sistemas productivos más conectados e inteligentes (Xu et al., 2018; Lee et al., 2018). Gracias a estas capacidades, las organizaciones pueden optimizar operaciones, mejorar la toma de decisiones y aumentar su capacidad de respuesta frente a entornos dinámicos.

No obstante, la creciente disponibilidad de tecnologías digitales ha puesto de manifiesto que la transformación industrial no depende exclusivamente de la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas. La literatura sobre transformación digital señala que la creación de valor sostenible requiere integrar dichas tecnologías dentro de estructuras organizativas capaces de adaptarse al cambio y de personas preparadas para interactuar con entornos cada vez más digitalizados (Vial, 2019; Warner y Wäger, 2019). Desde esta perspectiva, la digitalización debe entenderse como un proceso de transformación tecnológica, organizativa y humana.

Esta visión más amplia ha favorecido la evolución de los paradigmas industriales recientes. Mientras que la Industria 4.0 se centró principalmente en la automatización

y la conectividad, los enfoques asociados a la Industria 5.0 incorporaron la sostenibilidad, la resiliencia y la centralidad humana como elementos clave para el desarrollo industrial (European Commission, 2021). Sobre esta evolución emerge la Industria 6.0, que plantea la necesidad de integrar capacidades tecnológicas avanzadas, adaptación organizativa y aprendizaje continuo dentro de sistemas industriales orientados a la creación de valor sostenible (Fernández-Miguel et al., 2025; Verma et al., 2025).

En este contexto, resulta especialmente relevante comprender cómo la IA y el IIoT pueden contribuir al desarrollo de organizaciones industriales más sostenibles y resilientes. La motivación principal de este trabajo surge precisamente de la necesidad de avanzar hacia enfoques que permitan conectar tecnología, organización y personas dentro de una misma lógica estratégica de transformación industrial. Desde esta perspectiva, el diseño de modelos que faciliten dicha integración constituye una cuestión de creciente interés tanto para la investigación académica como para la práctica empresarial.

## **1.2 Planteamiento del problema de investigación**

A pesar de los avances alcanzados en la digitalización industrial durante las últimas décadas, numerosas empresas continúan encontrando dificultades para transformar las capacidades tecnológicas en resultados sostenibles y resilientes. La adopción de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) ha crecido de forma significativa, pero su implementación suele desarrollarse mediante iniciativas aisladas centradas en la automatización de procesos concretos o en la mejora de determinadas operaciones, sin una integración efectiva dentro de una estrategia global de transformación empresarial (Müller et al., 2018; Vial, 2019).

Esta situación genera una desconexión entre las capacidades tecnológicas y la capacidad real de las organizaciones para adaptarse, aprender y crear valor a largo plazo. Como consecuencia, muchas empresas disponen de infraestructuras digitales avanzadas, pero siguen presentando dificultades relacionadas con la coordinación organizativa, la gestión del cambio, el aprovechamiento de los datos o la adaptación

frente a entornos cada vez más dinámicos e inciertos (Warner y Wäger, 2019; Ghosh et al., 2022).

Asimismo, una parte importante de los enfoques de digitalización industrial ha estado tradicionalmente orientada hacia la eficiencia tecnológica y la automatización, prestando menor atención a aspectos relacionados con la dimensión humana, la sostenibilidad y la resiliencia organizativa. Factores como las competencias digitales, la aceptación tecnológica, la gobernanza del dato, el aprendizaje organizativo o la capacidad adaptativa continúan representando desafíos relevantes para muchas organizaciones industriales (European Commission, 2021; Ghobakhloo et al., 2023).

Esta problemática también se refleja en la literatura académica. Aunque existe una amplia producción científica sobre IA, IIoT, transformación digital, capacidades dinámicas, sostenibilidad e Industria 5.0, gran parte de estos trabajos analizan dichas temáticas de forma independiente o desde perspectivas parciales. Como resultado, todavía son limitadas las propuestas capaces de explicar de manera integrada cómo la tecnología, la organización y las personas interactúan para generar resultados de sostenibilidad y resiliencia dentro de los sistemas industriales (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021).

En este contexto, se identifica un vacío de investigación relacionado con la ausencia de modelos estratégicos que permitan articular de forma sencilla y coherente las capacidades tecnológicas asociadas a la IA y al IIoT con las capacidades organizativas y humanas necesarias para su integración efectiva. Esta necesidad resulta especialmente relevante en el contexto de la Industria 6.0, donde la creación de valor depende cada vez más de la capacidad para combinar inteligencia tecnológica, adaptación organizativa y centralidad humana dentro de una misma lógica de transformación industrial (Fernández-Miguel et al., 2025; Verma et al., 2025).

Con el fin de sintetizar el problema identificado y el gap de investigación que justifica el presente trabajo, la Figura 1 representa las principales limitaciones de los enfoques actuales y la necesidad de avanzar hacia modelos estratégicos capaces de conectar tecnología, organización y personas con resultados de sostenibilidad y resiliencia

**Figura 1: Planteamiento del problema y gap de investigación**



**Fuente:** Elaboración propia

Como se observa en la Figura 1, el problema de investigación no reside únicamente en la disponibilidad de tecnologías digitales avanzadas, sino en la dificultad de integrarlas dentro de una arquitectura estratégica que permita transformar dichas capacidades tecnológicas en resultados sostenibles y resilientes. En consecuencia, el presente Trabajo Fin de Máster se orienta al diseño de un modelo estratégico que facilite la integración de IA e IIoT mediante capacidades organizativas y humanas alineadas con los principios de la Industria 6.0.

### **1.3 Pregunta de investigación y objetivos**

La revisión preliminar de la literatura y el análisis del contexto industrial ponen de manifiesto la necesidad de avanzar hacia enfoques que permitan integrar las tecnologías digitales dentro de una lógica estratégica más amplia, capaz de conectar capacidades tecnológicas, organizativas y humanas con resultados sostenibles y resilientes. En este contexto, la presente investigación se articula en torno a la siguiente pregunta de investigación:

**¿Cómo puede diseñarse un modelo estratégico que integre Inteligencia Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) con capacidades**

## **organizativas y humanas para generar sostenibilidad y resiliencia en empresas industriales bajo los principios de la Industria 6.0?**

A partir de esta pregunta, se establece como objetivo general del trabajo:

**Diseñar un modelo estratégico para la integración de IA e IloT en empresas industriales, articulando capacidades tecnológicas, organizativas y humanas orientadas a la sostenibilidad y la resiliencia.**

Para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el papel de la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IloT) como tecnologías habilitadoras de la transformación digital industrial.
- Identificar las capacidades organizativas y humanas necesarias para integrar dichas tecnologías dentro de la empresa industrial.
- Fundamentar teóricamente el modelo a partir de constructos y enfoques relevantes relacionados con capacidades dinámicas, centralidad humana, sostenibilidad y resiliencia.
- Explicar cómo la integración entre tecnología, organización y personas contribuye a la generación de resultados de sostenibilidad y resiliencia en entornos industriales.
- Proponer un modelo estratégico simplificado y un sistema de indicadores que permitan orientar y evaluar procesos de transformación digital industrial alineados con los principios de la Industria 6.0.

### **1.4 Estructura del trabajo**

El presente Trabajo Fin de Máster se estructura en seis capítulos organizados de forma secuencial para responder a la pregunta de investigación planteada y desarrollar el modelo estratégico propuesto.

El **Capítulo 1** presenta el contexto de la investigación, el problema de estudio, la pregunta de investigación, los objetivos y la estructura general del trabajo.

El **Capítulo 2** desarrolla el marco teórico y el estado del arte. En él se analizan los principales conceptos relacionados con la transformación digital industrial, la Industria 6.0, la Inteligencia Artificial (IA), el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), las capacidades organizativas, la dimensión humana de la transformación digital, la sostenibilidad y la resiliencia. Asimismo, se identifican los principales constructos y relaciones teóricas que fundamentan el modelo propuesto.

El **Capítulo 3** describe la metodología empleada, incluyendo el enfoque de investigación adoptado, la estrategia de búsqueda bibliográfica, el procedimiento de análisis de la literatura y el proceso seguido para la construcción del modelo estratégico.

El **Capítulo 4** presenta los resultados de la investigación mediante el diseño del modelo estratégico propuesto. En este capítulo se describen sus componentes principales, la lógica de funcionamiento del modelo, los resultados estratégicos esperados y el sistema de indicadores planteado para su evaluación.

El **Capítulo 5** discute los resultados obtenidos, analizando la contribución del modelo en relación con la literatura existente sobre transformación digital industrial, capacidades organizativas, centralidad humana e Industria 6.0. Asimismo, se exponen sus implicaciones prácticas y sus principales limitaciones.

Finalmente, el **Capítulo 6** recoge las conclusiones del trabajo, revisa el cumplimiento de los objetivos planteados y propone posibles líneas futuras de investigación.

Con el fin de sintetizar la organización general del trabajo, la Figura 2 representa la secuencia lógica de los capítulos y su contribución al desarrollo del modelo estratégico propuesto.

**Figura 2: Estructura del Trabajo Fin de Máster**



**Fuente:** Elaboración propia

Como se observa en la Figura 2, la investigación sigue una secuencia progresiva que parte de la identificación del problema y la revisión de la literatura para culminar en la propuesta de un modelo estratégico orientado a integrar IA e IIoT mediante capacidades organizativas y humanas, con el objetivo de favorecer la sostenibilidad y la resiliencia en la empresa industrial.

## **2. Marco teórico y estado del arte**

El presente capítulo tiene como objetivo establecer la base teórica que sustenta el modelo estratégico propuesto. Para ello, se realiza una revisión de la literatura científica relacionada con la transformación digital industrial y los principales elementos que condicionan la integración efectiva de tecnologías digitales avanzadas dentro de las organizaciones industriales.

La literatura reciente pone de manifiesto que la transformación digital no puede entenderse únicamente como un proceso de adopción tecnológica. La incorporación de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) requiere capacidades organizativas y humanas que permitan transformar los datos y la conectividad en decisiones, aprendizaje y creación de valor sostenible (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021). En consecuencia, la digitalización industrial debe abordarse desde una perspectiva integradora que combine tecnología, organización y personas dentro de una misma lógica estratégica.

Con este propósito, el capítulo se estructura en cinco bloques principales. En primer lugar, se analiza la evolución de la transformación digital industrial y el contexto proporcionado por la Industria 6.0. Posteriormente, se estudian las tres dimensiones habilitadoras del modelo: la dimensión tecnológica, la dimensión organizativa y la dimensión humana. A continuación, se examinan la sostenibilidad y la resiliencia como resultados estratégicos de la transformación digital. Finalmente, se sintetizan los principales constructos, relaciones teóricas y proposiciones que sirven de fundamento para el desarrollo del modelo estratégico propuesto.

Esta estructura permite construir una base conceptual coherente para explicar cómo la integración de IA e IIoT, apoyada por capacidades organizativas y humanas, puede contribuir al desarrollo de empresas industriales más sostenibles y resilientes.

### **2.1 Transformación digital industrial e Industria 6.0 como contexto teórico del modelo**

La transformación digital constituye uno de los procesos de cambio más relevantes en la industria contemporánea, al implicar la integración de tecnologías digitales avanzadas dentro de los sistemas productivos y modificar la forma en que las

organizaciones crean valor, gestionan operaciones y desarrollan ventajas competitivas (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021). A diferencia de los procesos tradicionales de automatización, la transformación digital no se limita a la incorporación de nuevas tecnologías, sino que implica cambios simultáneos en los procesos, las estructuras organizativas, la toma de decisiones y las competencias necesarias para operar en entornos cada vez más digitalizados.

En el ámbito industrial, este proceso ha estado estrechamente vinculado al desarrollo de la denominada Industria 4.0. Este paradigma impulsó la integración de tecnologías como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), los sistemas ciberfísicos (CPS), la Inteligencia Artificial (IA) y el análisis masivo de datos con el objetivo de desarrollar sistemas productivos más conectados, automatizados e inteligentes (Liao et al., 2017; Xu et al., 2018). Gracias a estas tecnologías, las empresas industriales comenzaron a disponer de mayores capacidades de monitorización, automatización y optimización de procesos, favoreciendo la aparición de las denominadas fábricas inteligentes.

No obstante, la literatura reciente ha señalado que muchos enfoques asociados a la Industria 4.0 han estado excesivamente orientados hacia la dimensión tecnológica de la transformación digital. Aunque la conectividad, la automatización y el análisis de datos han permitido importantes mejoras operativas, numerosos estudios destacan que la adopción tecnológica por sí sola no garantiza una transformación exitosa ni la generación de valor sostenible a largo plazo (Vial, 2019; Zizic et al., 2022). Como consecuencia, comenzó a surgir una visión más amplia de la transformación industrial, incorporando aspectos relacionados con la sostenibilidad, la resiliencia organizativa y el papel de las personas dentro de los sistemas productivos.

Esta evolución dio lugar al desarrollo de la Industria 5.0, paradigma impulsado especialmente por la Comisión Europea, que propone una industria más sostenible, resiliente y centrada en las personas (European Commission, 2021). A diferencia de la Industria 4.0, cuyo foco principal se situaba en la eficiencia tecnológica, la Industria 5.0 introduce la necesidad de equilibrar el progreso tecnológico con el bienestar humano y la creación de valor social y ambiental. Desde esta perspectiva, la tecnología deja de ser un fin en sí misma para convertirse en una herramienta al servicio de las personas y de los objetivos de sostenibilidad.

Sobre esta evolución emerge la Industria 6.0, todavía en una fase temprana de desarrollo conceptual, pero cada vez más presente en la literatura académica reciente (Fernández-Miguel et al., 2025; Verma et al., 2025). Este enfoque plantea la evolución hacia sistemas industriales caracterizados por mayores niveles de inteligencia, autonomía y capacidad adaptativa, donde la integración entre tecnologías avanzadas, capacidades organizativas y capacidades humanas permite responder de manera dinámica a entornos complejos y cambiantes.

La Industria 6.0 no debe entenderse únicamente como una nueva generación tecnológica. Su principal aportación consiste en proponer una visión sistémica de la transformación industrial, donde la creación de valor depende de la interacción entre tecnología, organización y personas. Desde esta perspectiva, conceptos como aprendizaje continuo, adaptación organizativa, gobernanza del dato, sostenibilidad y resiliencia adquieren una importancia similar a la de las propias tecnologías digitales. Con el fin de sintetizar esta evolución, la Tabla 2 resume las principales características de los paradigmas industriales que sirven de contexto para el desarrollo del modelo propuesto.

**Tabla 2: Evolución de los paradigmas industriales**

| Paradigma            | Tecnología clave    | Características principales     |
|----------------------|---------------------|---------------------------------|
| <b>Industria 4.0</b> | IIoT, Big Data, CPS | Fábricas inteligentes           |
| <b>Industria 5.0</b> | IA colaborativa     | Human-centric, sostenibilidad   |
| <b>Industria 6.0</b> | Sistemas cognitivos | Industria adaptativa y autónoma |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Liao et al. (2017), Xu et al. (2018), European Commission (2021) y Verma et al. (2025).

Como se observa en la Tabla 2, la evolución de los paradigmas industriales refleja un desplazamiento progresivo desde enfoques centrados principalmente en la digitalización y la automatización hacia modelos que incorporan sostenibilidad, resiliencia y capacidades adaptativas. Esta evolución resulta especialmente relevante para el presente trabajo, ya que permite justificar la necesidad de desarrollar modelos

estratégicos que trasciendan la implantación tecnológica y contemplen simultáneamente factores organizativos y humanos.

En consecuencia, la Industria 6.0 se adopta como contexto teórico general de esta investigación al proporcionar un marco adecuado para analizar cómo la IA y el IloT pueden integrarse mediante capacidades organizativas y humanas orientadas a la sostenibilidad y la resiliencia. Desde esta perspectiva, la transformación digital industrial se entiende como un proceso de integración entre tecnología, organización y personas, más que como un simple proceso de adopción tecnológica.

## **2.2 Dimensión tecnológica: IA e IloT como habilitadores de la transformación digital**

La dimensión tecnológica constituye la base habilitadora del modelo estratégico propuesto, ya que proporciona las capacidades necesarias para capturar, procesar y utilizar información dentro de los sistemas industriales digitalizados. En el contexto de la transformación digital industrial, tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IloT) permiten desarrollar mayores niveles de conectividad, automatización e inteligencia operativa, facilitando una toma de decisiones más rápida y fundamentada en datos (Xu et al., 2018; Lee et al., 2018).

La literatura sobre transformación digital industrial señala que estas tecnologías han desempeñado un papel fundamental en la evolución de los sistemas productivos hacia entornos más inteligentes, flexibles y adaptativos. Gracias a la capacidad de recopilar información en tiempo real, analizar grandes volúmenes de datos y automatizar determinadas tareas, las organizaciones pueden mejorar la eficiencia operativa, optimizar recursos y aumentar su capacidad de respuesta frente a entornos cada vez más dinámicos (Liao et al., 2017; Tao et al., 2018).

Sin embargo, el interés de estas tecnologías para el presente trabajo no reside únicamente en sus características técnicas. Desde una perspectiva estratégica, la IA y el IloT constituyen mecanismos que permiten generar información, conocimiento y capacidades de adaptación que posteriormente pueden ser integradas por la organización y utilizadas por las personas para mejorar el desempeño global del

sistema industrial. En consecuencia, la tecnología debe entenderse como un habilitador de la transformación digital y no como un fin en sí misma (Vial, 2019).

En este contexto, la dimensión tecnológica se articula en torno a aquellas capacidades que permiten generar conectividad, inteligencia operativa y apoyo a la toma de decisiones dentro de la empresa industrial. Entre ellas destacan la Inteligencia Artificial, el Internet Industrial de las Cosas y un conjunto de tecnologías complementarias que refuerzan la integración entre el entorno físico y digital.

### 2.2.1 Inteligencia Artificial Industrial

La Inteligencia Artificial (IA) se ha convertido en una de las tecnologías más relevantes dentro de los procesos de transformación digital industrial debido a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos y generar información útil para la toma de decisiones. En el ámbito industrial, la IA permite transformar los datos procedentes de máquinas, sensores y sistemas productivos en conocimiento capaz de mejorar la eficiencia operativa, optimizar recursos y reforzar la capacidad adaptativa de las organizaciones (Lee et al., 2018; Gao et al., 2024).

Aunque el concepto de Inteligencia Artificial engloba un amplio conjunto de técnicas y enfoques, su aplicación industrial suele estar asociada principalmente al uso de algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*), análisis predictivo y sistemas de apoyo a la decisión. Estas herramientas permiten identificar patrones complejos dentro de los datos, detectar anomalías y anticipar comportamientos futuros, proporcionando información difícil de obtener mediante métodos tradicionales de análisis (Wuest et al., 2016).

La literatura destaca que una de las principales contribuciones de la IA a los sistemas industriales es su capacidad para mejorar la toma de decisiones mediante el uso de información basada en datos. En lugar de reaccionar únicamente ante acontecimientos ya ocurridos, las organizaciones pueden anticiparse a determinados problemas y adoptar decisiones más fundamentadas gracias a modelos predictivos capaces de estimar comportamientos futuros de procesos, equipos o cadenas de suministro (Lee et al., 2018).

Entre las aplicaciones más extendidas de la IA industrial destacan el mantenimiento predictivo, el control automatizado de calidad, la optimización de procesos productivos

y la planificación de operaciones. En el caso del mantenimiento predictivo, los algoritmos pueden analizar continuamente datos procedentes de sensores para detectar patrones asociados a posibles fallos y programar intervenciones antes de que se produzcan averías. De forma similar, en el ámbito del control de calidad, la IA permite identificar defectos o desviaciones en los procesos productivos con niveles de precisión superiores a los alcanzados mediante inspecciones tradicionales (Carvalho et al., 2019).

Asimismo, la IA desempeña un papel cada vez más importante en la optimización de recursos y en la mejora de la eficiencia operativa. Mediante el análisis continuo de datos, los sistemas inteligentes pueden proponer ajustes en los procesos de producción, optimizar la utilización de materiales y energía o mejorar la coordinación entre diferentes áreas de la organización. Estas capacidades resultan especialmente relevantes en entornos industriales caracterizados por elevados niveles de complejidad e incertidumbre.

No obstante, la literatura también señala que el valor de la IA depende de diversos factores que trascienden la propia tecnología. La disponibilidad de datos fiables, la calidad de la información utilizada para entrenar los algoritmos, la existencia de mecanismos de gobernanza adecuados y la capacidad de las personas para interpretar y utilizar los resultados generados condicionan significativamente su impacto dentro de la organización (Floridi et al., 2018; Vial, 2019). En consecuencia, la Inteligencia Artificial no debe entenderse como una solución autónoma, sino como una capacidad tecnológica cuya eficacia depende de su integración con capacidades organizativas y humanas.

Desde la perspectiva del presente trabajo, la principal aportación de la IA consiste en generar inteligencia operativa a partir de los datos producidos por el sistema industrial. Esta capacidad permite transformar información dispersa en conocimiento útil para la toma de decisiones, constituyendo uno de los pilares tecnológicos sobre los que se construye el modelo estratégico propuesto.

### 2.2.2 Internet Industrial de las Cosas (IIoT)

El Internet Industrial de las Cosas (Industrial Internet of Things, IIoT) constituye una de las principales tecnologías habilitadoras de la transformación digital industrial, al

permitir la conexión entre máquinas, sensores, dispositivos y sistemas de información dentro de los entornos productivos. Su objetivo principal es facilitar la captura, transmisión e integración de datos procedentes de los procesos industriales, proporcionando una visión más completa y actualizada del funcionamiento de las operaciones (Boyes et al., 2018; Xu et al., 2018).

La aparición del IloT ha supuesto una evolución significativa respecto a los sistemas tradicionales de automatización industrial. Mientras que estos últimos se caracterizaban por operar de forma relativamente aislada, las arquitecturas basadas en IloT permiten desarrollar entornos altamente conectados en los que la información fluye de manera continua entre los diferentes elementos del sistema productivo. Esta conectividad favorece una mayor visibilidad de las operaciones y facilita la toma de decisiones basada en datos en tiempo real (Tao et al., 2018).

Una de las principales aportaciones del IloT es su capacidad para generar información de forma continua mediante sistemas de sensorización distribuidos a lo largo de la organización. Estos sensores permiten monitorizar variables relacionadas con la producción, el rendimiento de los equipos, la calidad de los productos, el consumo energético o las condiciones ambientales, generando grandes volúmenes de datos que pueden utilizarse para mejorar el funcionamiento del sistema industrial (Boyes et al., 2018).

Asimismo, el IloT facilita una mayor capacidad de supervisión y control de los procesos productivos. La disponibilidad de información en tiempo real permite detectar desviaciones operativas, identificar incidencias y reaccionar con mayor rapidez ante cambios o problemas que puedan afectar al funcionamiento de la organización. Esta capacidad resulta especialmente relevante en entornos industriales caracterizados por elevados niveles de complejidad y dinamismo.

Sin embargo, el verdadero valor del IloT no reside únicamente en la generación de datos, sino en su capacidad para servir de base a otras tecnologías digitales avanzadas. La literatura destaca que la información capturada por las infraestructuras IloT constituye el principal recurso sobre el que operan sistemas de Inteligencia Artificial, analítica avanzada, gemelos digitales y herramientas de optimización industrial (Lee et al., 2018; Tao et al., 2018). En consecuencia, el IloT puede

entenderse como la infraestructura de conectividad que permite el desarrollo de sistemas industriales inteligentes.

No obstante, la implementación efectiva de soluciones basadas en IIoT también plantea desafíos significativos. Entre los más relevantes destacan la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos, la gestión de grandes volúmenes de información, la calidad del dato y la ciberseguridad industrial (Boyes et al., 2018; Industrial Internet Consortium, 2022). Estos desafíos ponen de manifiesto que la generación de datos, por sí sola, no garantiza una mejora del desempeño organizativo si no existe una capacidad adecuada para gestionar e interpretar la información obtenida.

Desde la perspectiva del modelo estratégico desarrollado en este trabajo, la principal función del IIoT consiste en proporcionar conectividad y visibilidad operativa dentro del sistema industrial. Mientras la Inteligencia Artificial transforma los datos en conocimiento útil para la toma de decisiones, el IIoT proporciona la información necesaria para alimentar dichos procesos analíticos. Por ello, ambas tecnologías se consideran complementarias y constituyen conjuntamente la base tecnológica sobre la que se articula el modelo propuesto.

### 2.2.3 Tecnologías complementarias: sistemas ciberfísicos, gemelos digitales, edge computing, interoperabilidad y ciberseguridad

Además de la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas, la literatura sobre transformación digital industrial identifica otras tecnologías que contribuyen al desarrollo de sistemas productivos más inteligentes, conectados y adaptativos. Aunque su función dentro del modelo propuesto es complementaria, estas tecnologías refuerzan la capacidad de las organizaciones para integrar información, coordinar procesos y mejorar la toma de decisiones.

Entre ellas destacan los sistemas ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems*, CPS), que permiten integrar el entorno físico y el entorno digital mediante la conexión entre máquinas, sensores, software y sistemas de comunicación (Monostori et al., 2016). Gracias a esta integración, los sistemas industriales pueden monitorizar continuamente su estado, intercambiar información y adaptar determinadas operaciones de forma más eficiente. Los CPS constituyen, por tanto, uno de los

principales mecanismos que permiten materializar la interacción entre el mundo físico y el digital dentro de los entornos industriales avanzados.

Otra tecnología relevante son los gemelos digitales (*digital twins*), definidos como representaciones virtuales de activos, procesos o sistemas físicos actualizadas continuamente mediante datos procedentes del entorno real (Tao et al., 2019). Estas herramientas permiten simular escenarios, analizar comportamientos futuros y evaluar posibles decisiones antes de su implementación, contribuyendo a reducir riesgos y mejorar la planificación operativa (Leng et al., 2021). Su principal aportación dentro de la transformación digital industrial radica en la capacidad de anticipar problemas y optimizar procesos mediante simulación y análisis predictivo.

Por su parte, el *edge computing* surge como respuesta a la necesidad de procesar información cada vez más cerca de su origen. Frente a modelos tradicionales basados exclusivamente en plataformas centralizadas, esta tecnología permite analizar datos localmente, reduciendo la latencia y facilitando respuestas más rápidas en aplicaciones industriales que requieren actuación en tiempo real (Shi et al., 2016). Esta capacidad resulta especialmente relevante en entornos donde la velocidad de respuesta puede afectar directamente a la seguridad, la calidad o la continuidad operativa.

Junto a estas tecnologías, la interoperabilidad y la ciberseguridad constituyen requisitos fundamentales para garantizar el funcionamiento eficaz de los sistemas digitales. La interoperabilidad permite integrar diferentes plataformas, dispositivos y fuentes de información dentro de una misma arquitectura tecnológica, favoreciendo la coordinación y el intercambio de datos entre sistemas heterogéneos (Industrial Internet Consortium, 2022). Por su parte, la ciberseguridad contribuye a proteger infraestructuras, datos y procesos frente a amenazas que podrían comprometer la continuidad operativa o la confianza en los sistemas digitales (Boyes et al., 2018).

En conjunto, estas tecnologías complementan las capacidades proporcionadas por la IA y el IIoT, reforzando la integración entre el entorno físico y digital, mejorando la capacidad de análisis y facilitando el desarrollo de sistemas industriales más conectados, flexibles y adaptativos.

#### 2.2.4 Síntesis tecnológica: constructo «capacidad tecnológica inteligente»

La revisión de la literatura realizada en los apartados anteriores pone de manifiesto que la transformación digital industrial se sustenta en la integración de capacidades relacionadas con conectividad, análisis de datos, automatización e interacción entre el entorno físico y digital. En este contexto, tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), los sistemas ciberfísicos y los gemelos digitales contribuyen de forma complementaria al desarrollo de sistemas industriales más inteligentes y adaptativos (Lee et al., 2018; Tao et al., 2019).

Sin embargo, desde la perspectiva del presente trabajo, el interés no reside en analizar cada tecnología de forma aislada, sino en comprender cómo su integración genera capacidades que pueden ser utilizadas por la organización para mejorar la toma de decisiones y reforzar su capacidad de adaptación. Por ello, resulta necesario sintetizar los elementos tecnológicos identificados en la literatura dentro de un constructo único que facilite su incorporación al modelo estratégico.

En consecuencia, la dimensión tecnológica puede representarse mediante el constructo **capacidad tecnológica inteligente**, entendido como la capacidad de la empresa industrial para integrar IA, IIoT y tecnologías digitales complementarias con el fin de generar conectividad, inteligencia operativa, automatización adaptativa y apoyo a la toma de decisiones.

Con el fin de sintetizar los principales elementos que conforman este constructo, la Tabla 3 recoge las tecnologías consideradas y la función que desempeñan dentro del modelo estratégico propuesto.

**Tabla 3: Elementos asociados al constructo capacidad tecnológica inteligente**

| Elemento tecnológico           | Capacidad asociada         | Función estratégica dentro del modelo                  |
|--------------------------------|----------------------------|--|
| <b>Inteligencia Artificial</b> | Inteligencia analítica     | Generación de conocimiento y automatización adaptativa |
| <b>IIoT</b>                    | Conectividad industrial    | Captura y circulación de datos en tiempo real          |
| <b>Sistemas ciberfísicos</b>   | Integración físico-digital | Coordinación inteligente de procesos                   |

|                                  |                                  |  |
|----------------------------------|----------------------------------|--|
| <b>Gemelos digitales</b>         | Simulación y anticipación        | Optimización y análisis predictivo       |
| <b>Edge computing</b>            | Procesamiento distribuido        | Respuesta operativa inmediata            |
| <b>Interoperabilidad</b>         | Integración tecnológica          | Coordinación y escalabilidad del sistema |
| <b>Ciberseguridad industrial</b> | Protección de sistemas digitales | Continuidad y resiliencia operativa      |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Lee et al. (2015), Tao et al. (2018), Kusiak (2018), Boyes et al. (2018), Shi et al. (2016), Fernández-Miguel et al. (2025) y Verma et al. (2025)

Como se observa en la Tabla 3, la capacidad tecnológica inteligente no se limita a la incorporación de herramientas digitales específicas, sino que representa una capacidad integrada orientada a generar información, conocimiento y capacidad de respuesta dentro del sistema industrial. Mientras el IIoT proporciona la infraestructura necesaria para capturar y compartir datos, la IA transforma dichos datos en inteligencia operativa y las tecnologías complementarias refuerzan la integración, la simulación y la capacidad de actuación del sistema.

Desde esta perspectiva, la capacidad tecnológica inteligente constituye la base habilitadora del modelo estratégico propuesto. No obstante, la literatura revisada señala que la generación de valor a partir de estas capacidades depende de su integración con mecanismos organizativos y humanos capaces de interpretar, coordinar y utilizar la información generada. Por ello, la dimensión tecnológica debe entenderse como el punto de partida del proceso de transformación digital y no como el único elemento explicativo de los resultados obtenidos por la organización.

### **2.3 Dimensión organizativa: capacidades dinámicas e integración estratégica**

La transformación digital industrial no depende exclusivamente de la disponibilidad de tecnologías avanzadas, sino también de la capacidad de las organizaciones para integrarlas dentro de sus procesos, estructuras y mecanismos de toma de decisiones. En este sentido, la dimensión organizativa constituye el elemento que permite convertir las capacidades tecnológicas en capacidades estratégicas capaces de generar valor sostenible y adaptación a largo plazo (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021).

La literatura sobre transformación digital señala que muchas iniciativas de digitalización fracasan no por limitaciones técnicas, sino por dificultades relacionadas con la coordinación organizativa, la gestión del cambio, la gobernanza de la información o la falta de alineación entre tecnología y estrategia empresarial (Warner y Wäger, 2019; Ghosh et al., 2022). Como consecuencia, disponer de tecnologías avanzadas no garantiza por sí mismo una mejora del desempeño organizativo si la empresa no desarrolla capacidades que permitan aprovechar su potencial.

Desde esta perspectiva, la organización actúa como el mecanismo que conecta la tecnología con los resultados estratégicos. La incorporación de IA e IIoT exige nuevas formas de coordinación, aprendizaje y adaptación capaces de integrar información, personas y procesos dentro de una misma lógica de transformación digital. En consecuencia, conceptos como capacidades dinámicas, estrategia digital, gobernanza del dato y aprendizaje organizativo adquieren una relevancia central dentro de los sistemas industriales digitalizados.

La literatura reciente también destaca que las organizaciones más avanzadas digitalmente suelen caracterizarse por una mayor capacidad para detectar oportunidades tecnológicas, movilizar recursos y adaptar continuamente sus procesos ante cambios del entorno (Warner y Wäger, 2019; Ghosh et al., 2022). Estas capacidades permiten transformar la digitalización en una fuente de ventaja competitiva y explican por qué organizaciones con tecnologías similares pueden obtener resultados muy diferentes.

En el contexto del presente trabajo, la dimensión organizativa se aborda como el conjunto de capacidades que permiten integrar la tecnología dentro de la estrategia empresarial y convertir la información generada por los sistemas digitales en decisiones, aprendizaje y adaptación. Para ello, se analizan cuatro elementos principales: las capacidades dinámicas como fundamento teórico del modelo, la estrategia digital y la alineación tecnología-negocio, la gobernanza del dato y, finalmente, la cultura organizativa y la gestión del cambio.

### 2.3.1 Teoría de capacidades dinámicas como base organizativa

La teoría de capacidades dinámicas constituye uno de los principales marcos teóricos utilizados para explicar cómo las organizaciones se adaptan a entornos

caracterizados por el cambio, la incertidumbre y la evolución tecnológica. Su relevancia ha aumentado especialmente en el ámbito de la transformación digital, donde las empresas deben integrar nuevas tecnologías, modificar procesos y desarrollar continuamente nuevas capacidades para mantener su competitividad (Teece, Pisano y Shuen, 1997; Teece, 2018).

Las capacidades dinámicas pueden definirse como la capacidad de una organización para integrar, construir y reconfigurar recursos y competencias con el fin de responder a entornos cambiantes (Teece et al., 1997). A diferencia de los recursos tradicionales, que pueden ser relativamente estables en el tiempo, las capacidades dinámicas permiten a la organización adaptarse, aprender y evolucionar ante nuevas condiciones del entorno.

En el contexto de la transformación digital industrial, esta perspectiva resulta especialmente relevante porque la incorporación de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) exige algo más que inversiones tecnológicas. Las organizaciones deben ser capaces de identificar oportunidades, movilizar recursos y transformar sus estructuras y procesos para aprovechar el potencial de estas tecnologías (Warner y Wäger, 2019).

Teece (2018) señala que las capacidades dinámicas pueden comprenderse a través de tres procesos fundamentales:

- Sensing, entendido como la capacidad para identificar oportunidades, amenazas y cambios relevantes en el entorno.
- Seizing, relacionado con la movilización de recursos y el desarrollo de respuestas organizativas para aprovechar dichas oportunidades.
- Transforming, referido a la capacidad de reconfigurar procesos, estructuras y competencias para sostener la adaptación a largo plazo.

En el ámbito industrial, estas capacidades permiten que las organizaciones evolucionen desde modelos tradicionales hacia sistemas más inteligentes, conectados y orientados a los datos. Por ejemplo, la capacidad de *sensing* facilita la identificación de nuevas oportunidades asociadas a tecnologías digitales; la capacidad de *seizing* permite desarrollar proyectos de transformación digital alineados con los objetivos empresariales; y la capacidad de *transforming* posibilita la

adaptación de procesos, estructuras y formas de trabajo para consolidar dichos cambios dentro de la organización.

Con el fin de sintetizar esta lógica, la Figura 3 representa los tres procesos que integran las capacidades dinámicas y su relación con la transformación digital industrial.

**Figura 3: Capacidades dinámicas en la transformación digital**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de Warner y Wäger (2019) y Teece (2018).

Como se observa en la Figura 3, las capacidades dinámicas permiten explicar cómo las organizaciones transforman oportunidades tecnológicas en capacidades organizativas y ventajas estratégicas. Desde esta perspectiva, la digitalización no se entiende como un proceso puntual de implantación tecnológica, sino como un proceso continuo de aprendizaje, adaptación y renovación organizativa.

La literatura reciente sobre transformación digital refuerza esta visión al señalar que las organizaciones con mayores capacidades dinámicas presentan una mayor facilidad para integrar tecnologías digitales, desarrollar nuevas capacidades y responder a cambios del entorno (Warner y Wäger, 2019; Ghosh et al., 2022). En consecuencia, las capacidades dinámicas proporcionan una explicación teórica adecuada para comprender cómo las empresas pueden convertir la IA y el IIoT en mecanismos de adaptación, resiliencia y creación de valor.

Por ello, en el presente trabajo las capacidades dinámicas se adoptan como el principal fundamento teórico de la dimensión organizativa y constituyen la base del constructo capacidad organizativa adaptativa, que será desarrollado en los apartados posteriores.

### 2.3.2 Estrategia digital y alineación tecnológica

La transformación digital industrial requiere que la incorporación de tecnologías digitales se encuentre alineada con los objetivos estratégicos de la organización. En este sentido, la estrategia digital puede definirse como el conjunto de decisiones y acciones orientadas a integrar las capacidades tecnológicas dentro de la visión, los procesos y los mecanismos de creación de valor de la empresa (Hess et al., 2016; Verhoef et al., 2021).

La literatura sobre transformación digital destaca que muchas iniciativas tecnológicas fracasan debido a la ausencia de una estrategia capaz de conectar las inversiones digitales con los objetivos organizativos. Como consecuencia, las organizaciones pueden desarrollar proyectos aislados de automatización o análisis de datos que generan mejoras puntuales, pero que no contribuyen de forma significativa a la adaptación o a la competitividad a largo plazo (Vial, 2019).

Desde esta perspectiva, la estrategia digital actúa como un mecanismo de alineación entre tecnología y negocio. Su función consiste en orientar la adopción de tecnologías como la IA y el IIoT hacia objetivos relacionados con la eficiencia operativa, la sostenibilidad, la resiliencia y la generación de valor. De esta forma, la digitalización deja de entenderse como una cuestión exclusivamente tecnológica para convertirse en una herramienta al servicio de la estrategia empresarial.

Asimismo, la literatura señala que las organizaciones con mayores niveles de madurez digital suelen presentar una mejor integración entre sus capacidades tecnológicas y sus objetivos estratégicos, lo que facilita la coordinación de recursos, la adaptación organizativa y la obtención de resultados sostenibles (Mittal et al., 2018; Warner y Wäger, 2019).

En el contexto del presente trabajo, la estrategia digital se considera un elemento esencial de la dimensión organizativa, ya que permite orientar las capacidades tecnológicas hacia resultados de sostenibilidad y resiliencia, garantizando que la

transformación digital responda a necesidades organizativas concretas y no únicamente a oportunidades tecnológicas.

### 2.3.3 Gobernanza del dato y toma de decisiones

La creciente digitalización de los sistemas industriales ha convertido los datos en uno de los recursos más relevantes para la creación de valor dentro de las organizaciones. Tecnologías como la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas generan grandes volúmenes de información procedente de máquinas, sensores y procesos productivos conectados. Sin embargo, la utilidad de estos datos depende de la capacidad de la organización para gestionarlos, interpretarlos y transformarlos en conocimiento útil para la toma de decisiones (Lee et al., 2018; Cui et al., 2020).

En este contexto, la gobernanza del dato puede definirse como el conjunto de mecanismos, políticas y responsabilidades destinados a garantizar la calidad, disponibilidad, integridad y utilización adecuada de la información dentro de la organización (Zorrilla y Yébenes, 2022). Su función principal consiste en asegurar que los datos utilizados para apoyar decisiones estratégicas y operativas sean fiables, accesibles y coherentes.

La literatura señala que muchos proyectos de transformación digital encuentran dificultades debido a problemas relacionados con la calidad de los datos, la fragmentación de la información o la falta de integración entre sistemas. Estas limitaciones reducen la capacidad de las organizaciones para aprovechar plenamente tecnologías como la IA, ya que los algoritmos dependen de la existencia de información consistente y correctamente gestionada para generar resultados fiables (Boyes et al., 2018; Industrial Internet Consortium, 2022).

Además de garantizar la calidad de la información, la gobernanza del dato desempeña un papel fundamental en los procesos de toma de decisiones. La creciente utilización de sistemas analíticos y algoritmos de inteligencia artificial exige mecanismos que permitan asegurar la trazabilidad de los datos, definir responsabilidades sobre su uso y establecer criterios de supervisión adecuados. En este sentido, la literatura reciente destaca la importancia de incorporar principios relacionados con transparencia, responsabilidad y supervisión humana en aquellos procesos de decisión apoyados por tecnologías inteligentes (Floridi et al., 2018; European Commission, 2021).

Desde la perspectiva del presente trabajo, la gobernanza del dato constituye un elemento clave para transformar la información generada por la IA y el IIoT en decisiones organizativas fiables. Por ello, se considera una de las capacidades fundamentales de la dimensión organizativa, al actuar como mecanismo de conexión entre las capacidades tecnológicas y la toma de decisiones dentro de la empresa industrial.

#### 2.3.4 Cultura digital, aprendizaje organizativo y gestión del cambio

La transformación digital industrial implica cambios que van más allá de la incorporación de nuevas tecnologías. La adopción de sistemas basados en IA, IIoT y análisis avanzado de datos modifica procesos, responsabilidades y formas de trabajo, generando la necesidad de desarrollar entornos organizativos capaces de adaptarse de manera continua a nuevas condiciones tecnológicas y competitivas (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021).

En este contexto, la cultura organizativa desempeña un papel fundamental. La literatura señala que las organizaciones con culturas orientadas a la innovación, la experimentación y el aprendizaje presentan mayores niveles de adopción tecnológica y una mayor capacidad para aprovechar el potencial de la transformación digital (Warner y Wäger, 2019; Ghobakhloo et al., 2023). Por el contrario, culturas excesivamente rígidas o resistentes al cambio pueden dificultar la integración efectiva de nuevas tecnologías, incluso cuando la infraestructura tecnológica está disponible.

Junto a la cultura organizativa, el aprendizaje organizativo constituye otro elemento esencial. La transformación digital debe entenderse como un proceso continuo de adaptación, en el que las organizaciones adquieren, comparten y aplican conocimiento para responder a nuevas oportunidades y desafíos. Desde esta perspectiva, la capacidad de aprender de la experiencia y de incorporar nuevos conocimientos resulta fundamental para sostener la evolución tecnológica y organizativa a largo plazo (Ghosh et al., 2022).

Asimismo, la flexibilidad organizativa adquiere una importancia creciente en entornos industriales caracterizados por elevados niveles de incertidumbre. Las organizaciones necesitan desarrollar estructuras capaces de adaptarse a cambios tecnológicos, modificaciones en la demanda o nuevas exigencias regulatorias sin comprometer su

capacidad operativa. Esta flexibilidad permite responder con mayor rapidez a situaciones cambiantes y facilita la integración de innovaciones dentro de los procesos existentes.

Otro aspecto especialmente relevante es la gestión del cambio. La introducción de nuevas tecnologías suele generar incertidumbre, resistencia y modificaciones en las dinámicas laborales. Por ello, las organizaciones necesitan desarrollar mecanismos de comunicación, participación y liderazgo que faciliten la aceptación de los cambios y reduzcan las barreras asociadas a la transformación digital (Vial, 2019). En este sentido, el liderazgo organizativo desempeña una función clave al proporcionar dirección, coordinar esfuerzos y promover una visión compartida del proceso de transformación.

Desde la perspectiva del presente trabajo, la cultura digital, el aprendizaje organizativo y la gestión del cambio constituyen capacidades que permiten consolidar la integración de tecnologías digitales dentro de la organización. Estas capacidades refuerzan la adaptación continua del sistema industrial y facilitan la transformación de las capacidades tecnológicas en resultados estratégicos sostenibles.

#### 2.3.5 Síntesis organizativa: constructo capacidad organizativa adaptativa

La revisión de la literatura realizada en los apartados anteriores pone de manifiesto que la transformación digital industrial no depende exclusivamente de la disponibilidad de tecnologías avanzadas. La capacidad de las organizaciones para integrar dichas tecnologías dentro de sus estrategias, procesos y estructuras constituye un factor determinante para la generación de valor sostenible y la adaptación a largo plazo (Teece, 2018; Warner y Wäger, 2019).

Los diferentes elementos analizados —capacidades dinámicas, estrategia digital, gobernanza del dato, aprendizaje organizativo y gestión del cambio— comparten una misma función dentro del proceso de transformación digital: permitir que la organización adapte continuamente sus recursos, coordine la utilización de las tecnologías digitales y convierta la información disponible en decisiones y acciones orientadas a la mejora continua.

Desde esta perspectiva, la dimensión organizativa puede sintetizarse mediante el constructo capacidad organizativa adaptativa, entendido como la capacidad de la

empresa para alinear estrategia, gobernanza, recursos, procesos y aprendizaje organizativo con el fin de integrar tecnologías digitales y adaptarse a entornos industriales cambiantes.

Con el fin de sintetizar los principales elementos que integran este constructo, la Tabla 4 recoge las capacidades organizativas identificadas en la literatura y su función dentro del modelo estratégico propuesto.

**Tabla 4: Elementos asociados al constructo capacidad organizativa adaptativa**

| <b>Elemento organizativo</b>     | <b>Capacidad asociada</b>                  | <b>Función estratégica dentro del modelo</b> |
|----------------------------------|--|--|
| <b>Capacidades dinámicas</b>     | Adaptación estratégica                     | Reconfiguración organizativa continua        |
| <b>Estrategia digital</b>        | Alineación tecnología-negocio              | Coherencia de transformación                 |
| <b>Gobernanza del dato</b>       | Coordinación de información y decisiones   | Integración organizativa                     |
| <b>Flexibilidad organizativa</b> | Adaptación estructural                     | Capacidad de respuesta                       |
| <b>Cultura digital</b>           | Innovación y aprendizaje                   | Facilitación de adopción tecnológica         |
| <b>Gestión del cambio</b>        | Adaptación humana y organizativa           | Consolidación de transformación              |
| <b>Aprendizaje organizativo</b>  | Generación y transferencia de conocimiento | Evolución continua del sistema               |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Teece (2018), Warner y Wäger (2019), Vial (2019), Ghosh et al. (2022), Hess et al. (2016) y Verhoef et al. (2021).

Como se observa en la Tabla 4, la capacidad organizativa adaptativa no se limita a una única práctica o herramienta de gestión, sino que representa una capacidad integrada orientada a coordinar recursos, personas y tecnologías dentro de un proceso continuo de adaptación. Mientras la dimensión tecnológica proporciona conectividad e inteligencia operativa, la dimensión organizativa permite que dichas

capacidades se incorporen de forma efectiva a los procesos y decisiones de la empresa.

En consecuencia, la capacidad organizativa adaptativa actúa como el principal mecanismo de integración entre la tecnología y los resultados estratégicos perseguidos por la organización. Esta función resulta especialmente relevante dentro del modelo propuesto, ya que permite explicar cómo las capacidades tecnológicas pueden transformarse en sostenibilidad y resiliencia mediante procesos de aprendizaje, coordinación y adaptación continua.

#### **2.4 Dimensión humana: centralidad humana digital**

La transformación digital industrial no puede entenderse únicamente como un proceso de incorporación tecnológica. Aunque tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) desempeñan un papel fundamental en la evolución de los sistemas productivos, su impacto depende en gran medida de la capacidad de las personas para utilizarlas, interpretarlas e integrarlas dentro de los procesos de trabajo (Lu et al., 2022; Ghobakhloo et al., 2023).

La literatura reciente sobre transformación digital e Industria 5.0 ha puesto de manifiesto la necesidad de superar enfoques excesivamente centrados en la tecnología e incorporar una visión más equilibrada que considere a las personas como un elemento esencial del sistema industrial. Desde esta perspectiva, la digitalización no implica únicamente automatizar tareas o mejorar la eficiencia operativa, sino también desarrollar nuevas competencias, fomentar el aprendizaje continuo y facilitar formas más avanzadas de colaboración entre personas y tecnologías inteligentes (European Commission, 2021).

Esta visión ha dado lugar al concepto de *human-centric manufacturing*, que propone diseñar sistemas productivos donde las capacidades humanas y tecnológicas actúen de manera complementaria. Mientras los sistemas basados en IA destacan en el procesamiento de información, el análisis de datos y la automatización de determinadas tareas, las personas aportan capacidades relacionadas con creatividad, juicio crítico, interpretación contextual y adaptación frente a situaciones complejas (Lu et al., 2022).

Además, la adopción efectiva de tecnologías digitales depende de factores que trascienden la dimensión técnica. Aspectos como las competencias digitales, la confianza en los sistemas inteligentes, la aceptación tecnológica o el liderazgo organizativo influyen directamente en la capacidad de las empresas para aprovechar el potencial de la transformación digital (Vial, 2019; Floridi et al., 2018).

En consecuencia, la dimensión humana se aborda en este trabajo como un conjunto de capacidades orientadas a facilitar la integración efectiva de la tecnología dentro de la organización. Para ello, se analizan cuatro elementos principales: la centralidad humana como fundamento conceptual de la dimensión, las competencias digitales y capacidades analíticas necesarias para operar en entornos digitalizados, la aceptación tecnológica y la confianza en sistemas inteligentes, y finalmente el liderazgo y la colaboración humano-máquina como mecanismos de adaptación y aprendizaje continuo.

#### 2.4.1 Centralidad humana e Industria 5.0

Uno de los principales cambios introducidos por los enfoques más recientes de transformación industrial ha sido la creciente atención prestada al papel de las personas dentro de los sistemas productivos. Frente a visiones centradas principalmente en la automatización y la eficiencia tecnológica, la Industria 5.0 propone una aproximación más equilibrada en la que la tecnología se concibe como un medio para potenciar las capacidades humanas y no únicamente como un mecanismo de sustitución del trabajo humano (European Commission, 2021; Nahavandi, 2019).

Desde esta perspectiva, la centralidad humana se convierte en uno de los principios fundamentales de la evolución industrial reciente. La Comisión Europea define la Industria 5.0 como un modelo orientado a desarrollar sistemas productivos sostenibles, resilientes y centrados en las personas, donde el progreso tecnológico debe contribuir simultáneamente a la competitividad empresarial y al bienestar de los trabajadores (European Commission, 2021).

La literatura asociada al concepto de *human-centric manufacturing* refuerza esta visión al plantear que los sistemas industriales más avanzados deben diseñarse a partir de la complementariedad entre capacidades humanas y capacidades

tecnológicas (Lu et al., 2022). Bajo este enfoque, las tecnologías digitales no sustituyen completamente la intervención humana, sino que amplían la capacidad de las personas para analizar información, resolver problemas complejos y tomar decisiones en entornos caracterizados por elevados niveles de incertidumbre.

Esta complementariedad resulta especialmente relevante en el caso de tecnologías como la Inteligencia Artificial. Mientras los algoritmos destacan por su capacidad para procesar grandes volúmenes de información y detectar patrones complejos, las personas aportan capacidades relacionadas con el razonamiento contextual, la creatividad, el juicio ético y la interpretación de situaciones ambiguas. Como consecuencia, los sistemas industriales más eficaces no son aquellos que eliminan la intervención humana, sino aquellos que consiguen integrar de forma adecuada las fortalezas de ambos tipos de capacidades (Lu et al., 2022; Zizic et al., 2022).

Asimismo, la centralidad humana implica reconocer que la transformación digital genera cambios profundos en la forma de trabajar, aprender y colaborar dentro de las organizaciones. La adopción de nuevas tecnologías exige desarrollar competencias, modificar procesos y promover mecanismos de participación capaces de facilitar la adaptación continua de las personas al entorno digital.

Esta visión resulta especialmente coherente con la lógica de la Industria 6.0, donde la creación de valor depende de la interacción entre inteligencia tecnológica, adaptación organizativa y capacidades humanas. Desde esta perspectiva, las personas dejan de considerarse usuarias finales de la tecnología para convertirse en agentes activos del proceso de transformación digital.

En consecuencia, la centralidad humana constituye el fundamento conceptual de la dimensión humana del modelo propuesto, al proporcionar una base teórica que justifica la necesidad de integrar competencias, aprendizaje, confianza y liderazgo dentro de los procesos de transformación digital industrial.

#### 2.4.2 Competencias digitales y capacidades analíticas humanas

La incorporación de tecnologías digitales avanzadas está modificando de forma progresiva las competencias requeridas dentro de los entornos industriales. La creciente utilización de sistemas basados en Inteligencia Artificial, Internet Industrial de las Cosas y análisis de datos ha desplazado parte del trabajo industrial desde

actividades fundamentalmente operativas hacia tareas relacionadas con la supervisión, la interpretación de información y la toma de decisiones apoyada en datos (Lee et al., 2018; Lu et al., 2022).

En este contexto, las competencias digitales se han convertido en un elemento esencial para el éxito de los procesos de transformación digital. Estas competencias no se limitan al conocimiento técnico de determinadas herramientas, sino que incluyen la capacidad para utilizar tecnologías digitales, interpretar información procedente de sistemas inteligentes y adaptarse a entornos caracterizados por una evolución tecnológica continua (Ghobakhloo et al., 2023).

La literatura señala que las organizaciones industriales necesitan desarrollar capacidades relacionadas con el uso de datos, la comprensión de sistemas digitales, la interacción con herramientas de análisis y la supervisión de procesos automatizados. A medida que la IA asume determinadas funciones analíticas y operativas, el papel de las personas evoluciona hacia actividades que requieren una mayor capacidad de interpretación, juicio crítico y resolución de problemas complejos (Lu et al., 2022).

Además de las competencias digitales, adquieren una relevancia creciente las capacidades analíticas humanas. Aunque los sistemas inteligentes pueden procesar grandes cantidades de información y detectar patrones difíciles de identificar mediante métodos tradicionales, la interpretación de los resultados continúa dependiendo en gran medida de la intervención humana. Las personas son responsables de contextualizar la información generada por los algoritmos, evaluar sus implicaciones y tomar decisiones considerando factores que no siempre pueden ser incorporados a modelos automatizados.

Otro aspecto especialmente relevante es el aprendizaje continuo. La transformación digital industrial constituye un proceso dinámico en el que tecnologías, procesos y modelos organizativos evolucionan constantemente. Como consecuencia, las competencias requeridas también cambian con rapidez, haciendo necesario que tanto trabajadores como organizaciones desarrollen mecanismos permanentes de actualización y adquisición de conocimientos (Warner y Wäger, 2019).

Desde la perspectiva del presente trabajo, las competencias digitales y las capacidades analíticas humanas representan una condición necesaria para que las tecnologías digitales puedan generar valor dentro de la organización. La capacidad de interpretar información, supervisar sistemas inteligentes y adaptarse a nuevos entornos tecnológicos permite que las personas actúen como un elemento activo dentro del proceso de transformación digital, reforzando la integración entre tecnología, organización y toma de decisiones.

#### 2.4.3 Aceptación tecnológica, confianza y ética

La integración efectiva de tecnologías digitales dentro de los sistemas industriales depende no solo de factores tecnológicos y organizativos, sino también de la forma en que las personas perciben y utilizan dichas tecnologías. En este contexto, la aceptación tecnológica constituye un elemento fundamental para comprender por qué determinadas iniciativas de transformación digital consiguen consolidarse mientras que otras encuentran importantes resistencias dentro de la organización (Vial, 2019).

La literatura sobre adopción tecnológica señala que las personas tienden a aceptar con mayor facilidad aquellas tecnologías que consideran útiles para el desempeño de sus tareas y cuyo funcionamiento resulta comprensible y coherente con sus necesidades profesionales. Esta perspectiva ha sido ampliamente desarrollada por los modelos de aceptación tecnológica, que identifican la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida como dos de los principales factores que condicionan la adopción de nuevas tecnologías por parte de los usuarios (Davis, 1989). Por el contrario, la percepción de complejidad, incertidumbre o falta de control puede generar resistencia y dificultar la integración efectiva de nuevas herramientas digitales dentro de los procesos organizativos.

En el caso de la Inteligencia Artificial, esta cuestión adquiere una relevancia especial debido al creciente papel que desempeñan los algoritmos en actividades relacionadas con el análisis de datos, la predicción de comportamientos y el apoyo a la toma de decisiones. Aunque estas capacidades ofrecen importantes oportunidades para mejorar la eficiencia y la capacidad de adaptación de las organizaciones, también pueden generar preocupaciones relacionadas con la transparencia, la comprensión de los resultados obtenidos y el grado de supervisión humana existente sobre los sistemas inteligentes (Floridi et al., 2018).

Por ello, la confianza se ha convertido en uno de los factores más relevantes para la adopción de tecnologías basadas en IA. La literatura destaca que las personas tienden a utilizar con mayor frecuencia aquellos sistemas cuyos resultados consideran fiables, comprensibles y consistentes. En consecuencia, la confianza no depende únicamente de la precisión técnica de los algoritmos, sino también de la capacidad de la organización para garantizar mecanismos adecuados de comunicación, supervisión y validación de las decisiones apoyadas por sistemas inteligentes.

Junto a la confianza, la dimensión ética ha adquirido una importancia creciente dentro de los procesos de transformación digital. Organismos internacionales y numerosos autores han señalado la necesidad de desarrollar tecnologías alineadas con principios de transparencia, responsabilidad y supervisión humana, especialmente cuando dichas tecnologías participan en procesos de decisión que pueden afectar a personas u organizaciones (Floridi et al., 2018; European Commission, 2021).

Desde la perspectiva del presente trabajo, la aceptación tecnológica, la confianza y la ética representan factores que condicionan la integración efectiva de la IA y el IIoT dentro de la empresa industrial. La capacidad de las personas para comprender, aceptar y supervisar las tecnologías digitales influye directamente en su utilización real y, por tanto, en la capacidad de la organización para obtener valor a partir de ellas. En consecuencia, estos elementos constituyen componentes fundamentales de la dimensión humana del modelo estratégico propuesto.

#### 2.4.4 Liderazgo y gestión del cambio humano

La transformación digital industrial requiere algo más que la incorporación de nuevas tecnologías o el desarrollo de competencias digitales. También exige mecanismos de liderazgo capaces de orientar el cambio organizativo, coordinar recursos y facilitar la adaptación de las personas a nuevas formas de trabajo (Vial, 2019; Warner y Wäger, 2019).

En este contexto, el liderazgo desempeña una función estratégica al proporcionar una visión compartida de la transformación digital y promover una cultura organizativa orientada al aprendizaje y la innovación. La literatura señala que las organizaciones con liderazgos comprometidos con la transformación digital presentan mayores

niveles de adopción tecnológica y una mayor capacidad para integrar cambios tecnológicos dentro de sus procesos y estructuras (Ghosh et al., 2022).

Además de impulsar la transformación, el liderazgo contribuye a reducir resistencias, facilitar la comunicación y generar confianza en torno a la utilización de nuevas tecnologías. Esta función resulta especialmente relevante en entornos industriales donde la incorporación de sistemas basados en IA e IIoT puede modificar procesos de trabajo consolidados y generar incertidumbre respecto a nuevos roles y responsabilidades.

Junto al liderazgo, la colaboración humano-máquina constituye uno de los principios centrales de los enfoques más recientes de transformación industrial. La literatura asociada a la Industria 5.0 y al concepto de *human-centric manufacturing* plantea que las tecnologías digitales deben complementar las capacidades humanas en lugar de sustituirlas completamente (European Commission, 2021; Lu et al., 2022).

Desde esta perspectiva, la Inteligencia Artificial y otros sistemas inteligentes aportan capacidades relacionadas con el procesamiento de grandes volúmenes de información, la identificación de patrones y la automatización de determinadas tareas. Por su parte, las personas contribuyen mediante capacidades difíciles de replicar tecnológicamente, como el razonamiento contextual, la creatividad, la interpretación de situaciones complejas y la toma de decisiones en entornos ambiguos.

La complementariedad entre ambos tipos de capacidades permite desarrollar sistemas industriales más flexibles y adaptativos. Mientras la tecnología proporciona velocidad, precisión y capacidad analítica, las personas aportan criterio, supervisión y capacidad de adaptación frente a situaciones imprevistas. Como consecuencia, la creación de valor no depende exclusivamente de la tecnología ni exclusivamente de las personas, sino de la calidad de la interacción entre ambas.

Desde la perspectiva del presente trabajo, el liderazgo y la colaboración humano-máquina representan mecanismos fundamentales para consolidar la integración de la tecnología dentro de la organización. Ambos elementos contribuyen a facilitar la adopción de nuevas tecnologías, reforzar el aprendizaje organizativo y garantizar que las capacidades digitales puedan utilizarse de forma efectiva para generar sostenibilidad y resiliencia.

#### 2.4.5 Síntesis humana: constructo centralidad humana digital

La revisión de la literatura realizada pone de manifiesto que la transformación digital industrial no puede entenderse únicamente como un proceso tecnológico u organizativo. La capacidad de las personas para adaptarse a nuevas tecnologías, interpretar información, colaborar con sistemas inteligentes y participar activamente en los procesos de cambio constituye un elemento esencial para el éxito de la transformación digital (Lu et al., 2022; Ghobakhloo et al., 2023).

Los diferentes elementos analizados en los apartados anteriores —centralidad humana, competencias digitales, capacidades analíticas, aceptación tecnológica, confianza, liderazgo y colaboración humano-máquina— comparten una misma función dentro del proceso de transformación digital: facilitar la integración efectiva de la tecnología dentro de la organización y garantizar que las capacidades digitales puedan traducirse en mejoras reales del desempeño industrial.

Desde esta perspectiva, la dimensión humana puede sintetizarse mediante el constructo centralidad humana digital, entendido como la capacidad de integrar competencias, aprendizaje, confianza, liderazgo y colaboración humano-máquina dentro de los procesos de transformación digital industrial.

Con el fin de sintetizar los principales elementos que conforman este constructo, la Tabla 5 recoge las capacidades humanas identificadas en la literatura y su función dentro del modelo estratégico propuesto.

**Tabla 5: Elementos asociados al constructo centralidad humana digital**

| <b>Elemento humano</b>                | <b>Capacidad asociada</b>    | <b>Función estratégica dentro del modelo</b> |
|---------------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Competencias digitales</b>         | Adaptación tecnológica       | Integración de capacidades digitales         |
| <b>Capacidades analíticas humanas</b> | Interpretación y supervisión | Complementariedad con IA                     |
| <b>Colaboración humano-máquina</b>    | Interacción inteligente      | Flexibilidad y productividad                 |

|                                  |  |                                      |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>Aprendizaje continuo</b>      | Evolución profesional y organizativa       | Adaptación permanente                |
| <b>Aceptación tecnológica</b>    | Integración efectiva de sistemas digitales | Viabilidad de transformación         |
| <b>Confianza y transparencia</b> | Legitimidad de tecnologías inteligentes    | Uso responsable de IA                |
| <b>Liderazgo digital</b>         | Coordinación del cambio organizativo       | Adaptación estratégica               |
| <b>Gobernanza ética</b>          | Supervisión responsable de tecnologías     | Sostenibilidad social y organizativa |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de European Commission (2021), Lu et al. (2022), Ghobakhloo et al. (2023), Floridi et al. (2018), Warner y Wäger (2019) y Fernández-Miguel et al. (2025).

Como se observa en la Tabla 5, la centralidad humana digital no se limita a la formación tecnológica de los trabajadores, sino que representa una capacidad integrada que combina competencias, aprendizaje, liderazgo y confianza dentro de los procesos de transformación digital. Esta capacidad permite que las personas actúen como agentes activos de la transformación, facilitando la adopción de tecnologías digitales y reforzando la adaptación organizativa.

En consecuencia, la centralidad humana digital constituye el tercer elemento fundamental del modelo propuesto. Mientras la capacidad tecnológica inteligente proporciona conectividad e inteligencia operativa y la capacidad organizativa adaptativa permite coordinar e integrar dichas capacidades, la dimensión humana garantiza que la transformación digital pueda ser adoptada, utilizada y sostenida dentro de la organización. De este modo, la interacción entre tecnología, organización y personas establece las bases necesarias para alcanzar resultados de sostenibilidad y resiliencia en el contexto industrial.

## 2.5 Sostenibilidad y resiliencia como resultados estratégicos

La literatura reciente sobre transformación digital industrial ha ampliado progresivamente el foco tradicional de la digitalización más allá de la eficiencia operativa y la automatización. En este contexto, conceptos como sostenibilidad y resiliencia han adquirido una importancia creciente dentro de los procesos de transformación industrial, especialmente a partir de los enfoques asociados a la Industria 5.0 y la Industria 6.0 (European Commission, 2021; Verma et al., 2025).

Esta evolución ha puesto de manifiesto que el éxito de la transformación digital no debe evaluarse únicamente en términos de productividad o rendimiento tecnológico, sino también en función de su capacidad para generar valor sostenible y fortalecer la capacidad adaptativa de las organizaciones. Desde esta perspectiva, la incorporación de tecnologías como la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas constituye un medio para alcanzar determinados resultados estratégicos y no un objetivo en sí mismo.

Por ello, el presente trabajo considera la sostenibilidad y la resiliencia como los principales resultados estratégicos derivados de la integración entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas dentro de la empresa industrial. Mientras la sostenibilidad orienta la creación de valor económico, ambiental y social a largo plazo, la resiliencia permite que dicho valor pueda mantenerse y adaptarse frente a cambios, incertidumbres y disrupciones del entorno.

Con el fin de fundamentar esta perspectiva, los siguientes apartados analizan ambos conceptos y su relación con los procesos de transformación digital industrial.

#### 2.5.1 Sostenibilidad estratégica: valor económico, ambiental y social

La sostenibilidad se ha consolidado como uno de los principales objetivos asociados a la transformación industrial contemporánea. Frente a enfoques tradicionales centrados exclusivamente en la eficiencia económica y productiva, la literatura reciente plantea la necesidad de generar valor de forma equilibrada desde una perspectiva económica, ambiental y social (Bocken et al., 2014; Khan et al., 2021). Esta visión resulta especialmente relevante en el contexto de la transformación digital, donde la incorporación de nuevas tecnologías debe contribuir no solo a mejorar el rendimiento operativo, sino también a promover modelos industriales más responsables y sostenibles.

Uno de los marcos conceptuales más utilizados para analizar la sostenibilidad organizativa es el enfoque del *Triple Bottom Line* (TBL), que propone evaluar el desempeño empresarial a partir de tres dimensiones complementarias: económica, ambiental y social (Bocken et al., 2014). Desde esta perspectiva, una organización sostenible no es únicamente aquella que genera beneficios económicos, sino también aquella capaz de reducir su impacto ambiental y contribuir positivamente al bienestar de las personas y de la sociedad.

La dimensión económica se relaciona con la capacidad de la organización para mantener su competitividad, productividad y viabilidad a largo plazo. En el ámbito industrial, esto implica mejorar la eficiencia operativa, optimizar la utilización de recursos y desarrollar capacidades que permitan responder de forma flexible a cambios del entorno sin comprometer la generación de valor (Frank et al., 2019).

Por su parte, la dimensión ambiental se centra en la reducción de impactos asociados a la actividad productiva. Aspectos como la eficiencia energética, la reducción de emisiones, la optimización del consumo de recursos y la minimización de residuos constituyen elementos fundamentales dentro de las estrategias de sostenibilidad industrial (Stock y Seliger, 2016). En este contexto, la digitalización puede desempeñar un papel relevante al facilitar una gestión más eficiente de los procesos y recursos.

Finalmente, la dimensión social incorpora cuestiones relacionadas con el bienestar de las personas, la seguridad laboral, el desarrollo de competencias y la participación dentro de la organización. La literatura asociada a la Industria 5.0 destaca especialmente esta dimensión, al considerar que la sostenibilidad debe incluir también el desarrollo humano y la creación de entornos de trabajo más seguros, inclusivos y orientados al aprendizaje continuo (European Commission, 2021; Lu et al., 2022).

Además del enfoque TBL, en los últimos años han adquirido una relevancia creciente los criterios ESG (*Environmental, Social and Governance*), utilizados para evaluar el desempeño sostenible de las organizaciones desde una perspectiva más amplia de creación de valor y responsabilidad corporativa. Aunque el presente trabajo no desarrolla un modelo específico basado en ESG, estos criterios refuerzan la idea de que la sostenibilidad constituye un elemento estratégico que debe integrarse dentro de los procesos de transformación empresarial.

Desde la perspectiva de esta investigación, la sostenibilidad estratégica puede definirse como la capacidad de generar valor económico, ambiental y social mediante la integración de criterios sostenibles dentro de los procesos de transformación digital industrial. Esta definición permite entender la sostenibilidad no como una dimensión independiente del modelo, sino como uno de los principales resultados hacia los que se orienta la integración de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas.

### 2.5.2 Digitalización y sostenibilidad industrial

La relación entre transformación digital y sostenibilidad ha adquirido una importancia creciente en la literatura sobre sistemas industriales avanzados. Diversos estudios señalan que tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y los sistemas de análisis de datos pueden contribuir significativamente al desarrollo de modelos productivos más eficientes y sostenibles (Stock y Seliger, 2016; Khan et al., 2021).

Una de las principales aportaciones de la digitalización a la sostenibilidad industrial reside en su capacidad para generar información en tiempo real sobre el funcionamiento de los procesos productivos. La utilización de sensores, plataformas conectadas y sistemas de monitorización permite recopilar datos relacionados con el consumo energético, la utilización de recursos o el rendimiento de los equipos, facilitando la identificación de ineficiencias y oportunidades de mejora (Xu et al., 2018).

Asimismo, la integración de IA y analítica avanzada favorece la optimización de procesos mediante la identificación de patrones de consumo, la reducción de desperdicios y la mejora en la utilización de materiales y energía. Estas capacidades permiten incrementar la eficiencia operativa al mismo tiempo que reducen impactos ambientales asociados a la actividad industrial (Lee et al., 2018; Gao et al., 2024).

Otro aspecto especialmente relevante es la mejora de la trazabilidad y la transparencia de los procesos. La disponibilidad de información detallada sobre productos, recursos y operaciones facilita la adopción de prácticas asociadas a la economía circular, favoreciendo una gestión más eficiente de los ciclos de vida de materiales y productos (Lieder y Rashid, 2016). De esta forma, la digitalización

contribuye no solo a optimizar la producción, sino también a desarrollar modelos industriales más sostenibles a largo plazo.

Además, tecnologías como los gemelos digitales y la simulación avanzada permiten evaluar distintos escenarios antes de su implementación real, reduciendo costes, riesgos y consumos innecesarios. Estas capacidades favorecen una planificación más eficiente y una utilización más racional de los recursos disponibles (Leng et al., 2021).

No obstante, la literatura también advierte que la digitalización no genera sostenibilidad de manera automática. La implementación de infraestructuras digitales requiere recursos materiales, consumo energético y mecanismos adecuados de gobernanza que permitan garantizar un uso responsable de la tecnología (Bonilla et al., 2018). En consecuencia, el impacto positivo de la digitalización sobre la sostenibilidad depende de la forma en que las organizaciones integran las capacidades tecnológicas dentro de sus estrategias y procesos de decisión.

Desde la perspectiva del presente trabajo, la digitalización constituye un habilitador de la sostenibilidad, ya que proporciona capacidades de monitorización, optimización y análisis que facilitan la creación de valor económico, ambiental y social. Sin embargo, dichos resultados solo pueden alcanzarse cuando las capacidades tecnológicas se combinan con capacidades organizativas y humanas capaces de orientar la transformación digital hacia objetivos sostenibles.

### 2.5.3 Resiliencia operativa

La resiliencia se ha convertido en uno de los conceptos más relevantes dentro de la gestión industrial contemporánea debido al incremento de la incertidumbre, la complejidad y la frecuencia de las disrupciones que afectan a las organizaciones. Factores como la volatilidad de los mercados, los cambios tecnológicos, las interrupciones en las cadenas de suministro o las crisis globales han puesto de manifiesto la necesidad de desarrollar sistemas industriales capaces de adaptarse y mantener su funcionamiento ante situaciones adversas (Ivanov, 2022).

En términos generales, la resiliencia operativa puede definirse como la capacidad de una organización para anticipar, responder, adaptarse y recuperarse frente a cambios o disrupciones, manteniendo la continuidad de sus operaciones y la creación de valor a largo plazo (Ivanov, 2022). Desde esta perspectiva, la resiliencia no se limita a

reaccionar ante problemas una vez ocurridos, sino que implica desarrollar capacidades que permitan prepararse y adaptarse continuamente a un entorno cambiante.

La literatura reciente destaca que la transformación digital puede contribuir significativamente al fortalecimiento de la resiliencia industrial. Tecnologías como la IA y el IIoT permiten mejorar la visibilidad de los procesos, detectar anomalías de forma temprana y generar información útil para la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre (Tao et al., 2018; Ivanov, 2022). Gracias a estas capacidades, las organizaciones pueden reaccionar con mayor rapidez ante cambios operativos y reducir el impacto de posibles interrupciones.

Uno de los principales mecanismos mediante los cuales la digitalización favorece la resiliencia es la capacidad de anticipación. La monitorización continua proporcionada por el IIoT y el análisis predictivo desarrollado mediante IA permiten identificar riesgos potenciales antes de que se conviertan en problemas reales. Esta capacidad resulta especialmente relevante en ámbitos como el mantenimiento industrial, la gestión de inventarios o la planificación de operaciones.

Asimismo, la resiliencia depende de la capacidad de respuesta y adaptación de la organización. En este sentido, la literatura señala que las tecnologías digitales solo generan resiliencia cuando se combinan con capacidades organizativas adecuadas, como la flexibilidad, el aprendizaje continuo y las capacidades dinámicas (Ghosh et al., 2022; Warner y Wäger, 2019). Estas capacidades permiten reconfigurar procesos, reasignar recursos y ajustar decisiones frente a nuevas condiciones del entorno.

La dimensión humana también desempeña un papel esencial dentro de la resiliencia operativa. La capacidad de interpretar información, tomar decisiones en situaciones complejas y adaptarse a nuevas circunstancias continúa dependiendo en gran medida de las personas que forman parte de la organización. Como consecuencia, la resiliencia debe entenderse como el resultado de la interacción entre tecnología, organización y capacidades humanas, más que como una propiedad derivada exclusivamente de la infraestructura tecnológica.

Desde la perspectiva del presente trabajo, la resiliencia operativa se entiende como la capacidad del sistema industrial para anticipar, responder y adaptarse frente a

disrupciones manteniendo la continuidad operativa y la creación de valor. Esta capacidad constituye, junto con la sostenibilidad, uno de los principales resultados estratégicos hacia los que se orienta el modelo propuesto.

#### 2.5.4 Síntesis: sostenibilidad y resiliencia como resultados del modelo

La revisión de la literatura realizada en los apartados anteriores pone de manifiesto que la transformación digital industrial no debe evaluarse únicamente en función del grado de adopción tecnológica o de las mejoras operativas obtenidas. La creación de valor asociada a la digitalización depende de la capacidad de las organizaciones para orientar sus capacidades tecnológicas, organizativas y humanas hacia resultados que puedan mantenerse y evolucionar a largo plazo (European Commission, 2021; Ivanov, 2022).

Desde esta perspectiva, la sostenibilidad y la resiliencia constituyen dos resultados estratégicos estrechamente relacionados. La sostenibilidad proporciona una orientación hacia la generación equilibrada de valor económico, ambiental y social, mientras que la resiliencia permite preservar y adaptar dicho valor frente a cambios, incertidumbres y disrupciones del entorno. Como consecuencia, ambos conceptos pueden interpretarse como resultados complementarios de un mismo proceso de transformación digital.

A diferencia de las dimensiones tecnológica, organizativa y humana, que actúan como capacidades habilitadoras dentro del modelo, la sostenibilidad y la resiliencia representan los principales resultados hacia los que se orienta la integración de dichas capacidades. Esta diferenciación permite simplificar la estructura conceptual del modelo y refuerza la idea de que la tecnología, por sí sola, no constituye un resultado, sino un medio para alcanzar objetivos estratégicos más amplios.

Con el fin de sintetizar esta lógica, la Tabla 6 resume los dos resultados estratégicos considerados en el modelo y los principales elementos que contribuyen a su desarrollo.

**Tabla 6: Sostenibilidad y resiliencia como resultados estratégicos del modelo**

| Resultado estratégico | Qué incluye | Contribución de IA e IIoT | Capacidades necesarias |
|-----------------------|-------------|---------------------------|------------------------|
|-----------------------|-------------|---------------------------|------------------------|

|                                   |   |   |  |
|-----------------------------------|---|---|--|
| <b>Sostenibilidad estratégica</b> | Valor económico, ambiental y social               | Monitorización, optimización, trazabilidad y eficiencia                 | Capacidades organizativas y humanas orientadas a la sostenibilidad |
| <b>Resiliencia operativa</b>      | Anticipación, respuesta, adaptación y continuidad | Detección temprana, análisis predictivo y monitorización en tiempo real | Capacidades dinámicas, aprendizaje y adaptación organizativa       |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de European Commission (2021), Ivanov (2022), Khan et al. (2021) y Ghobakhloo et al. (2023).

Como se observa en la Tabla 6, tanto la sostenibilidad como la resiliencia dependen de la interacción entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. La IA y el IloT aportan información, conectividad y capacidad analítica, pero la obtención de resultados sostenibles y resilientes requiere mecanismos organizativos y humanos capaces de integrar dichas capacidades dentro de los procesos de decisión y adaptación de la empresa industrial.

En consecuencia, la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa se consideran los principales resultados del modelo propuesto y constituyen el punto de conexión entre la transformación digital industrial y la creación de valor a largo plazo.

## 2.6 Relaciones teóricas, constructos y proposiciones del modelo

La revisión de la literatura realizada en las secciones anteriores ha permitido identificar un conjunto de capacidades y resultados que explican la transformación digital industrial desde una perspectiva integradora. A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en la tecnología, los estudios revisados muestran que la generación de valor depende de la interacción entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas dentro de la organización (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021).

Desde esta perspectiva, el modelo propuesto se fundamenta en la idea de que la IA y el IloT actúan como habilitadores tecnológicos cuya contribución depende de la capacidad de la organización para integrarlos y de la capacidad de las personas para

utilizarlos, supervisarlos y adaptarse a ellos. Como resultado de esta integración, las organizaciones pueden avanzar hacia mayores niveles de sostenibilidad y resiliencia.

Con el fin de sintetizar esta lógica conceptual, los siguientes apartados presentan los principales constructos identificados, las relaciones teóricas existentes entre ellos y las proposiciones que sirven de base para el modelo estratégico desarrollado en este trabajo.

### 2.6.1 Constructos principales del modelo

La revisión de la literatura realizada en las secciones anteriores ha permitido identificar un conjunto de constructos que estructuran conceptualmente el fenómeno de la transformación digital industrial analizado en este trabajo. Estos constructos sintetizan las principales capacidades y resultados identificados en la literatura y constituyen la base sobre la que se desarrolla el modelo estratégico propuesto.

Desde esta perspectiva, el modelo se articula en torno a cinco constructos principales. Los tres primeros representan capacidades habilitadoras necesarias para desarrollar y sostener la transformación digital dentro de la empresa industrial: la capacidad tecnológica inteligente, la capacidad organizativa adaptativa y la centralidad humana digital. Los dos constructos restantes corresponden a los resultados estratégicos perseguidos mediante la integración de dichas capacidades: la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa.

Con el fin de sintetizar estos elementos y su papel dentro de la propuesta conceptual desarrollada, la Tabla 7 recoge los constructos identificados, su base teórica principal y la función que desempeñan dentro del modelo estratégico.

**Tabla 7: Constructos principales del modelo**

| Constructo                               | Tipo dentro del modelo | Base teórica principal   | Función dentro del modelo                            |
|--|------------------------|--|--|
| <b>Capacidad tecnológica inteligente</b> | Capacidad habilitadora | Transformación digital industrial y <i>smart manufacturing</i> | Generar conectividad, datos e inteligencia operativa |

|  |                        |  |  |
|--|------------------------|--|--|
| <b>Capacidad organizativa adaptativa</b> | Capacidad habilitadora | Capacidades dinámicas                            | Integrar la tecnología dentro de procesos, decisiones y mecanismos de adaptación |
| <b>Centralidad humana digital</b>        | Capacidad habilitadora | Industria 5.0 y enfoque sociotécnico             | Facilitar adopción tecnológica, aprendizaje y supervisión humana                 |
| <b>Sostenibilidad estratégica</b>        | Resultado estratégico  | Triple Bottom Line (TBL) y ESG                   | Generar valor económico, ambiental y social a largo plazo                        |
| <b>Resiliencia operativa</b>             | Resultado estratégico  | Resiliencia organizativa y adaptación industrial | Favorecer anticipación, respuesta y adaptación frente a cambios y disrupciones   |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 7, el modelo distingue claramente entre capacidades habilitadoras y resultados estratégicos. Mientras la capacidad tecnológica inteligente proporciona conectividad e inteligencia operativa, la capacidad organizativa adaptativa y la centralidad humana digital permiten integrar dichas capacidades dentro de la organización y garantizar su utilización efectiva. Como resultado de esta integración, la empresa industrial puede avanzar hacia mayores niveles de sostenibilidad estratégica y resiliencia operativa.

En conjunto, estos cinco constructos proporcionan una estructura conceptual coherente para explicar cómo la integración de IA e IIoT puede contribuir a la transformación digital industrial desde una perspectiva alineada con los principios de la Industria 6.0.

### 2.6.2 Relaciones teóricas entre constructos

Los constructos identificados en las secciones anteriores no actúan de forma aislada, sino que mantienen relaciones de interdependencia que permiten explicar cómo la transformación digital industrial genera valor dentro de la organización. La literatura revisada pone de manifiesto que la tecnología, la organización y las personas constituyen elementos complementarios cuya interacción condiciona los resultados

obtenidos en términos de sostenibilidad y resiliencia (Vial, 2019; Ghobakhloo et al., 2023).

La primera relación se establece entre la capacidad tecnológica inteligente y la capacidad organizativa adaptativa. Las tecnologías digitales proporcionan conectividad, datos e inteligencia operativa, pero la generación de valor depende de la existencia de mecanismos organizativos capaces de integrar dicha información dentro de los procesos y sistemas de decisión. Desde esta perspectiva, la organización actúa como el elemento que transforma las capacidades tecnológicas en capacidades estratégicas (Warner y Wäger, 2019; Ghosh et al., 2022).

Una segunda relación conecta la capacidad tecnológica inteligente con la centralidad humana digital. La incorporación de IA e IIoT modifica la forma en que las personas trabajan, toman decisiones e interactúan dentro de la organización. Como consecuencia, la utilidad de estas tecnologías depende de la existencia de competencias digitales, capacidades analíticas y niveles adecuados de aceptación y confianza por parte de los trabajadores (Lu et al., 2022).

Asimismo, existe una relación estrecha entre la capacidad organizativa adaptativa y la centralidad humana digital. Los procesos de aprendizaje, gestión del cambio y adaptación organizativa requieren la participación activa de las personas, mientras que las competencias y capacidades humanas necesitan entornos organizativos capaces de facilitar su desarrollo. Esta interacción permite sostener la transformación digital a largo plazo y reforzar la capacidad adaptativa de la organización (Warner y Wäger, 2019).

Por otra parte, la literatura revisada indica que las capacidades organizativas y humanas desempeñan un papel esencial en la generación de sostenibilidad y resiliencia. Las capacidades dinámicas, la gobernanza del dato, el liderazgo y el aprendizaje continuo permiten orientar la utilización de la tecnología hacia objetivos relacionados con la creación de valor sostenible y la capacidad de adaptación frente a cambios del entorno (European Commission, 2021; Ivanov, 2022).

Finalmente, sostenibilidad y resiliencia mantienen una relación complementaria dentro del modelo. La sostenibilidad proporciona una orientación estratégica hacia la creación de valor económico, ambiental y social a largo plazo, mientras que la

resiliencia permite mantener y adaptar dicho valor frente a situaciones de incertidumbre o disrupción. Como consecuencia, ambos resultados se refuerzan mutuamente y contribuyen al desarrollo de sistemas industriales más robustos y adaptativos.

En conjunto, estas relaciones permiten explicar la lógica general del modelo propuesto: la IA y el IIoT proporcionan capacidades tecnológicas que, al integrarse mediante capacidades organizativas y humanas, favorecen la generación de sostenibilidad y resiliencia dentro de la empresa industrial.

### 2.6.3 Proposiciones teóricas del modelo

La revisión de la literatura realizada ha permitido identificar un conjunto de relaciones recurrentes entre las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas asociadas a la transformación digital industrial. A partir de estas relaciones, se formulan una serie de proposiciones teóricas que sintetizan la lógica conceptual del modelo estratégico propuesto.

Estas proposiciones no pretenden establecer relaciones causales validadas empíricamente, sino estructurar conceptualmente los principales vínculos identificados en la literatura entre la IA, el IIoT, las capacidades organizativas, la dimensión humana y los resultados estratégicos perseguidos por la organización. En este sentido, constituyen el puente entre el marco teórico desarrollado y el diseño del modelo estratégico que se presentará en el capítulo de resultados.

**Proposición 1 (P1).** La capacidad tecnológica inteligente basada en IA e IIoT favorece la generación de inteligencia operativa dentro de la empresa industrial.

Esta proposición se fundamenta en la capacidad de las tecnologías digitales para capturar, procesar y analizar información procedente de los sistemas productivos, facilitando una toma de decisiones más informada y adaptativa (Lee et al., 2018; Xu et al., 2018).

**Proposición 2 (P2).** La capacidad organizativa adaptativa permite transformar la inteligencia tecnológica en decisiones, procesos y capacidades estratégicas.

La literatura sobre capacidades dinámicas señala que la tecnología solo genera valor cuando la organización dispone de mecanismos capaces de integrar información,

coordinar recursos y adaptar continuamente sus procesos (Teece, 2018; Warner y Wäger, 2019).

**Proposición 3 (P3).** La centralidad humana digital condiciona la adopción efectiva de IA e IloT mediante competencias, aceptación tecnológica, confianza y supervisión humana.

Esta proposición se apoya en los enfoques asociados a la Industria 5.0 y al *human-centric manufacturing*, que destacan el papel de las personas como elemento esencial para la integración efectiva de las tecnologías digitales (European Commission, 2021; Lu et al., 2022).

**Proposición 4 (P4).** La integración entre capacidad tecnológica inteligente, capacidad organizativa adaptativa y centralidad humana digital contribuye a la sostenibilidad estratégica de la empresa industrial.

La literatura revisada muestra que la generación de valor económico, ambiental y social depende de la capacidad de combinar tecnologías digitales con mecanismos organizativos y humanos orientados a la sostenibilidad (Khan et al., 2021; Ghobakhloo et al., 2023).

**Proposición 5 (P5).** La integración entre capacidad tecnológica inteligente, capacidad organizativa adaptativa y centralidad humana digital contribuye a la resiliencia operativa de la empresa industrial.

Esta proposición se fundamenta en la capacidad conjunta de la tecnología, la organización y las personas para anticipar, responder y adaptarse frente a cambios y disrupciones del entorno industrial (Ivanov, 2022; Ghosh et al., 2022).

En conjunto, estas proposiciones sintetizan la lógica conceptual del modelo propuesto y permiten explicar cómo la integración de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas puede favorecer resultados de sostenibilidad y resiliencia dentro de la empresa industrial.

## **2.7 Síntesis del marco teórico y gap de investigación**

La revisión de la literatura realizada a lo largo de este capítulo pone de manifiesto que la transformación digital industrial ha evolucionado desde enfoques centrados

principalmente en la automatización y la conectividad hacia modelos más integradores orientados a la sostenibilidad, la resiliencia y la centralidad humana. En este contexto, tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se han consolidado como algunos de los principales habilitadores de los sistemas industriales inteligentes, al proporcionar capacidades de monitorización, análisis y toma de decisiones basadas en datos (Lee et al., 2018; Xu et al., 2018).

Asimismo, la literatura revisada muestra que la creación de valor derivada de estas tecnologías depende de factores que trascienden la dimensión tecnológica. Las capacidades organizativas relacionadas con la adaptación, el aprendizaje y la gobernanza, junto con las capacidades humanas vinculadas a las competencias digitales, la confianza y la colaboración humano-máquina, desempeñan un papel fundamental en la integración efectiva de la transformación digital dentro de las organizaciones industriales (Warner y Wäger, 2019; Lu et al., 2022).

A partir de este análisis, el presente trabajo identifica cinco constructos principales que permiten estructurar conceptualmente el fenómeno estudiado:

- Capacidad tecnológica inteligente.
- Capacidad organizativa adaptativa.
- Centralidad humana digital.
- Sostenibilidad estratégica.
- Resiliencia operativa.

Estos constructos permiten explicar cómo las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas interactúan para generar resultados asociados a la sostenibilidad y la resiliencia dentro de la empresa industrial.

Sin embargo, a pesar de la existencia de una amplia literatura sobre transformación digital, capacidades dinámicas, sostenibilidad, resiliencia e Industria 5.0, gran parte de los estudios continúan abordando estos elementos de forma separada o desde perspectivas parciales. Como consecuencia, siguen siendo limitadas las propuestas capaces de explicar de manera integrada cómo la IA y el IIoT pueden combinarse con capacidades organizativas y humanas para generar resultados estratégicos sostenibles dentro de los sistemas industriales (Vial, 2019; Ghobakhloo et al., 2023).

Esta situación resulta especialmente relevante en el contexto de la Industria 6.0, donde la creación de valor depende cada vez más de la capacidad para integrar inteligencia tecnológica, adaptación organizativa y centralidad humana dentro de una misma lógica de transformación industrial (Fernández-Miguel et al., 2025; Verma et al., 2025).

En consecuencia, el principal gap de investigación identificado se relaciona con la necesidad de desarrollar modelos estratégicos que permitan explicar de forma sencilla y coherente cómo la integración de IA e IIoT, apoyada por capacidades organizativas y humanas, puede contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia de la empresa industrial.

En respuesta a este vacío, el presente trabajo propone un modelo estratégico fundamentado en los constructos identificados y en las relaciones teóricas desarrolladas a lo largo de este capítulo. Dicho modelo será presentado en los capítulos siguientes como una propuesta conceptual orientada a facilitar la integración de tecnologías digitales dentro de organizaciones industriales alineadas con los principios de la Industria 6.0.

### **3. Metodología**

El presente capítulo describe el enfoque metodológico empleado para desarrollar el modelo estratégico propuesto. Dado que el objetivo de la investigación consiste en diseñar un modelo conceptual orientado a integrar Inteligencia Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) dentro de empresas industriales, se adopta una metodología basada en la revisión y síntesis de literatura científica especializada.

La metodología se estructura en cuatro apartados. En primer lugar, se presenta el enfoque metodológico general de la investigación. Posteriormente, se describe la estrategia de búsqueda y selección de literatura utilizada para identificar las principales contribuciones científicas relacionadas con el objeto de estudio. A continuación, se explica el procedimiento seguido para analizar la información recopilada y extraer los elementos relevantes para el desarrollo del modelo. Finalmente, se describe el proceso de construcción del modelo estratégico a partir de los constructos y relaciones identificados en el marco teórico.

#### **3.1 Enfoque metodológico**

El presente trabajo adopta un enfoque metodológico de carácter conceptual y exploratorio orientado al diseño de un modelo estratégico para la integración de IA e IIoT en empresas industriales. Este enfoque resulta adecuado cuando el objetivo principal de la investigación no consiste en contrastar hipótesis mediante datos empíricos, sino en desarrollar una propuesta conceptual fundamentada en el conocimiento existente dentro de la literatura científica.

La investigación se apoya en una revisión sistematizada de literatura especializada relacionada con transformación digital industrial, Industria 5.0, Industria 6.0, Inteligencia Artificial, Internet Industrial de las Cosas, capacidades dinámicas, sostenibilidad y resiliencia. Este tipo de revisión resulta especialmente adecuado para identificar, organizar y sintetizar conocimiento existente con el fin de desarrollar propuestas conceptuales fundamentadas en la literatura científica (Tranfield et al., 2003).

Desde esta perspectiva, la investigación se sitúa dentro de los estudios de carácter exploratorio, ya que aborda un fenómeno todavía emergente dentro de la literatura,

especialmente en relación con la Industria 6.0 y la integración conjunta de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. Asimismo, presenta un carácter conceptual debido a que su principal resultado es la elaboración de un modelo teórico orientado a explicar un fenómeno y no la validación empírica de relaciones causales concretas.

En consecuencia, el trabajo no incorpora técnicas de recogida de datos primarios ni procedimientos de validación empírica. Su contribución se centra en la síntesis y estructuración del conocimiento existente con el fin de desarrollar una propuesta conceptual capaz de orientar futuros procesos de investigación y aplicación práctica en el ámbito industrial.

### **3.2 Estrategia de búsqueda y selección de literatura**

Con el fin de garantizar la solidez teórica de la investigación, el desarrollo del presente trabajo se fundamenta en una revisión sistematizada de literatura científica especializada relacionada con la transformación digital industrial y las tecnologías digitales avanzadas aplicadas al ámbito manufacturero. La búsqueda bibliográfica se orientó a identificar las principales contribuciones académicas relacionadas con Inteligencia Artificial (IA), Internet Industrial de las Cosas (IIoT), capacidades dinámicas, sostenibilidad, resiliencia e Industria 6.0.

La búsqueda se realizó principalmente en bases de datos científicas de reconocido prestigio y amplia utilización en los ámbitos de la ingeniería, la gestión tecnológica y la transformación digital. Asimismo, se utilizó Google Scholar como herramienta complementaria para localizar publicaciones relevantes y verificar referencias identificadas durante el proceso de revisión.

Con el fin de sintetizar las principales características de la estrategia de búsqueda empleada, la Tabla 8 resume las fuentes de información utilizadas y los principales términos considerados durante el proceso de revisión.

**Tabla 8: Estrategia de búsqueda de literatura**

| Elemento                          | Descripción   |
|-----------------------------------|---|
| <b>Bases de datos principales</b> | Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect y SpringerLink   |
| <b>Fuente complementaria</b>      | Google Scholar  |
| <b>Periodo analizado</b>          | Principalmente publicaciones entre 2015 y 2026  |
| <b>Palabras clave principales</b> | Artificial Intelligence, Industrial Internet of Things, IIoT, Smart Manufacturing, Digital Transformation, Industry 5.0, Industry 6.0, Dynamic Capabilities, Human-Centric Manufacturing, Industrial Sustainability y Resilient Manufacturing |
| <b>Idioma predominante</b>        | Inglés  |
| <b>Tipo de publicaciones</b>      | Artículos científicos revisados por pares, revisiones sistemáticas y trabajos conceptuales de referencia  |

**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez identificadas las fuentes potencialmente relevantes, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión con el objetivo de garantizar la calidad y la pertinencia de la literatura analizada.

Los criterios de inclusión considerados fueron los siguientes:

- Publicaciones revisadas por pares.
- Estudios desarrollados en contextos industriales o manufactureros.
- Trabajos relacionados con IA, IIoT, transformación digital, capacidades organizativas, sostenibilidad o resiliencia.
- Investigaciones con aportaciones conceptuales o estratégicas relevantes para el desarrollo del modelo.

Por otro lado, se excluyeron:

- Publicaciones de carácter divulgativo o sin revisión científica.
- Estudios centrados exclusivamente en aspectos técnicos sin implicaciones organizativas o estratégicas.
- Trabajos desarrollados fuera del contexto industrial.
- Fuentes con escasa relación con los objetivos de la investigación.

La aplicación de estos criterios permitió seleccionar un conjunto de referencias alineadas con la pregunta de investigación y adecuadas para la construcción del marco teórico y del modelo estratégico desarrollado en este trabajo.

### **3.3 Procedimiento de análisis de la literatura**

Una vez identificadas y seleccionadas las fuentes bibliográficas relevantes, se llevó a cabo un proceso de análisis orientado a identificar los conceptos, capacidades y relaciones más significativos para el desarrollo del modelo estratégico propuesto. Este procedimiento tuvo como objetivo transformar la información obtenida de la literatura en una estructura conceptual coherente capaz de responder a la pregunta de investigación planteada.

El análisis se desarrolló de forma secuencial a través de varias fases interrelacionadas. En primer lugar, se realizó una revisión detallada de la literatura seleccionada con el fin de identificar los conceptos y enfoques más recurrentes relacionados con la transformación digital industrial. Posteriormente, dichos conceptos fueron agrupados en categorías temáticas que permitieran organizar y sintetizar el conocimiento existente.

A continuación, se identificaron las principales capacidades y elementos asociados a la integración de IA e IIoT dentro de la empresa industrial. Este proceso permitió diferenciar entre capacidades habilitadoras y resultados estratégicos, facilitando la construcción de una estructura conceptual más sencilla y coherente.

Posteriormente, se analizaron las relaciones descritas en la literatura entre los diferentes elementos identificados, prestando especial atención a los vínculos existentes entre tecnología, organización, personas, sostenibilidad y resiliencia. Este

análisis permitió formular los constructos y proposiciones teóricas que constituyen la base conceptual del modelo.

Finalmente, a partir de los constructos y relaciones identificados, se desarrolló el modelo estratégico y se propuso un sistema de indicadores orientado a facilitar su interpretación y evaluación.

Con el fin de sintetizar el procedimiento seguido, la Figura 4 representa las principales fases del proceso de análisis de la literatura y construcción del modelo.

**Figura 4: Procedimiento de análisis de la literatura y construcción del modelo**



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 4, el procedimiento seguido permitió evolucionar desde la revisión de la literatura hasta la formulación de una propuesta conceptual estructurada. Esta secuencia garantiza la coherencia entre el marco teórico desarrollado y el modelo estratégico presentado en los capítulos posteriores.

### 3.4 Desarrollo del modelo estratégico

El modelo estratégico propuesto en este trabajo se desarrolla mediante un proceso de síntesis conceptual basado en los resultados obtenidos a partir de la revisión y análisis de la literatura científica especializada. Dado que el objetivo de la investigación consiste en diseñar una propuesta conceptual y no en validar relaciones

mediante datos empíricos, la construcción del modelo se fundamenta en la integración de los principales conceptos, teorías y relaciones identificados en el marco teórico.

La construcción del modelo parte de los cinco constructos definidos en el capítulo anterior. Por un lado, se consideran tres capacidades habilitadoras: la capacidad tecnológica inteligente, la capacidad organizativa adaptativa y la centralidad humana digital. Por otro lado, se identifican dos resultados estratégicos: la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa. Estos elementos constituyen la estructura conceptual sobre la que se articula la propuesta desarrollada en el presente trabajo.

A partir de los constructos identificados, se analizan las relaciones descritas en la literatura entre tecnología, organización y personas, así como su contribución a la sostenibilidad y la resiliencia en entornos industriales. Este análisis permite formular las proposiciones teóricas que sirven de fundamento para el diseño del modelo estratégico.

Sobre esta base, se desarrolla una representación simplificada orientada a explicar cómo la integración de IA e IIoT puede generar valor dentro de la empresa industrial cuando se apoya en capacidades organizativas y humanas adecuadas. De este modo, el modelo se aleja de enfoques centrados exclusivamente en la tecnología y adopta una perspectiva integradora alineada con los principios de la Industria 6.0.

Finalmente, el modelo se complementa con una propuesta de indicadores orientada a facilitar la interpretación de sus principales componentes y resultados. Estos indicadores no pretenden constituir un sistema de medición exhaustivo, sino proporcionar una referencia conceptual coherente con la lógica del modelo desarrollado.

En consecuencia, el resultado de este proceso es una propuesta estratégica que integra capacidades tecnológicas, organizativas y humanas dentro de una misma lógica de transformación digital orientada a la sostenibilidad y la resiliencia en la empresa industrial.

## **4. Resultados: diseño del modelo estratégico flexible y sostenible**

El presente capítulo desarrolla el principal resultado de la investigación mediante la formulación del modelo estratégico propuesto para la integración de Inteligencia Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) en empresas industriales. El modelo se construye a partir de los constructos y relaciones teóricas identificados en el marco conceptual y tiene como objetivo proporcionar una representación integrada de los elementos que intervienen en los procesos de transformación digital industrial.

A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en la adopción tecnológica, la propuesta desarrollada en este trabajo parte de la premisa de que la generación de valor depende de la interacción entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. Desde esta perspectiva, la tecnología constituye un habilitador de la transformación digital, mientras que la organización y las personas actúan como mecanismos de integración que permiten convertir dichas capacidades en resultados estratégicos.

En consecuencia, el modelo se estructura en torno a tres capacidades habilitadoras: la capacidad tecnológica inteligente, la capacidad organizativa adaptativa y la centralidad humana digital. Estas capacidades interactúan para favorecer la generación de sostenibilidad estratégica y resiliencia operativa, entendidas como los principales resultados del proceso de transformación digital industrial.

El capítulo se organiza en cinco apartados. En primer lugar, se presenta la lógica general del modelo y su representación gráfica. Posteriormente, se describen los principales componentes que lo integran y su papel dentro de la propuesta. A continuación, se analizan los resultados estratégicos perseguidos por el modelo y la dinámica de funcionamiento que conecta los diferentes elementos identificados. Finalmente, se presentan las condiciones generales para su implementación y una propuesta básica de indicadores orientada a facilitar su evaluación.

### **4.1 Lógica general del modelo**

El modelo estratégico propuesto en este trabajo parte de la premisa de que la transformación digital industrial no depende exclusivamente de la implantación de tecnologías avanzadas, sino de la capacidad de las organizaciones para integrar

dichas tecnologías dentro de sus procesos y de la capacidad de las personas para utilizarlas de forma efectiva. Desde esta perspectiva, la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) constituyen habilitadores tecnológicos que proporcionan conectividad, información e inteligencia operativa, pero cuyo impacto depende de mecanismos organizativos y humanos capaces de transformar estas capacidades en resultados estratégicos.

La lógica del modelo se fundamenta en la interacción entre tres capacidades habilitadoras identificadas en el marco teórico. En primer lugar, la capacidad tecnológica inteligente proporciona los datos, la conectividad y las capacidades analíticas necesarias para comprender y optimizar el funcionamiento del sistema industrial. En segundo lugar, la capacidad organizativa adaptativa permite integrar dichas capacidades tecnológicas dentro de la estrategia, los procesos y los mecanismos de toma de decisiones de la organización. Finalmente, la centralidad humana digital facilita la adopción, interpretación y supervisión de las tecnologías digitales, garantizando que estas puedan ser utilizadas de forma efectiva dentro del entorno industrial.

La interacción entre estas tres capacidades constituye el núcleo del modelo propuesto. Mientras la tecnología proporciona información y capacidad analítica, la organización transforma dicha información en decisiones y procesos adaptativos, y las personas aportan aprendizaje, supervisión y capacidad de adaptación frente a situaciones complejas. Como consecuencia, la generación de valor no depende de un único elemento, sino de la integración coordinada de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas.

Sobre esta base, el modelo orienta la transformación digital hacia dos resultados estratégicos principales: la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa. La sostenibilidad representa la capacidad de generar valor económico, ambiental y social a largo plazo, mientras que la resiliencia refleja la capacidad de anticipar, responder y adaptarse frente a cambios o disrupciones del entorno. Ambos resultados constituyen la finalidad última del modelo y permiten evaluar la contribución de la transformación digital más allá de criterios exclusivamente tecnológicos o productivos.

Asimismo, la propuesta se apoya en tres fundamentos conceptuales desarrollados en el marco teórico. Las capacidades dinámicas proporcionan la base explicativa de la

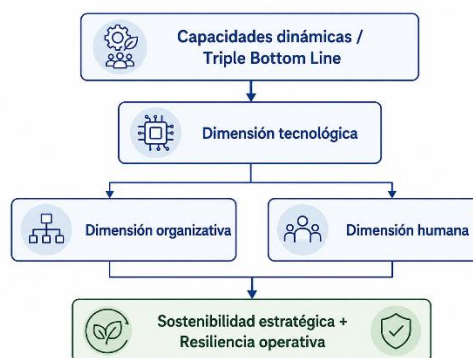
adaptación organizativa; la centralidad humana fundamenta la participación activa de las personas dentro del proceso de transformación; y el enfoque del Triple Bottom Line orienta la generación de valor hacia objetivos económicos, ambientales y sociales. La combinación de estos elementos permite desarrollar una visión integrada de la transformación digital industrial alineada con los principios de la Industria 6.0.

En consecuencia, el modelo plantea que la IA y el IIoT pueden contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia de la empresa industrial cuando se integran mediante capacidades organizativas y humanas adecuadas. Esta lógica permite simplificar la comprensión del fenómeno estudiado y proporciona una estructura conceptual coherente para orientar procesos de transformación digital en entornos industriales.

## 4.2 Representación gráfica del modelo estratégico

A partir de los constructos y relaciones teóricas identificados en el marco conceptual, se propone un modelo estratégico orientado a explicar cómo la integración de Inteligencia Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) puede contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia de la empresa industrial. La Figura 5 presenta la representación gráfica del modelo desarrollado en esta investigación.

Figura 5: Modelo estratégico para la integración de IA e IIoT en empresas industriales



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 representa la lógica general del modelo estratégico propuesto. La dimensión tecnológica constituye el punto de partida del proceso de transformación digital al proporcionar conectividad, datos e inteligencia operativa mediante la utilización de IA, IIoT y tecnologías digitales complementarias. Estas capacidades

permiten mejorar la visibilidad de los procesos industriales, generar conocimiento a partir de los datos y apoyar la toma de decisiones.

No obstante, el modelo plantea que la tecnología por sí sola no genera resultados estratégicos. Para que las capacidades tecnológicas puedan traducirse en mejoras sostenibles dentro de la organización, resulta necesaria su integración mediante capacidades organizativas y humanas.

La dimensión organizativa incorpora elementos como las capacidades dinámicas, la estrategia digital, la gobernanza del dato y el aprendizaje organizativo. Su función consiste en transformar la información generada por la tecnología en decisiones, procesos y mecanismos de adaptación capaces de responder a entornos industriales cada vez más dinámicos y complejos.

Por su parte, la dimensión humana integra aspectos relacionados con las competencias digitales, la aceptación tecnológica, la confianza, el liderazgo y la colaboración humano-máquina. Estos elementos permiten que las tecnologías digitales sean comprendidas, adoptadas y utilizadas de forma efectiva dentro de la organización, facilitando su integración en las actividades y procesos empresariales.

El modelo propone que la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa son el resultado de la interacción entre las dimensiones tecnológica, organizativa y humana. Desde esta perspectiva, la sostenibilidad se relaciona con la capacidad de generar valor económico, ambiental y social a largo plazo, mientras que la resiliencia refleja la capacidad de anticipar, responder y adaptarse frente a cambios o disrupciones del entorno.

Asimismo, la propuesta se apoya en dos fundamentos conceptuales desarrollados en el marco teórico. Por un lado, las capacidades dinámicas proporcionan la base explicativa de la adaptación organizativa necesaria para integrar las tecnologías digitales dentro de la empresa. Por otro, el enfoque del Triple Bottom Line orienta la transformación digital hacia la creación equilibrada de valor económico, ambiental y social.

En conjunto, la Figura 5 sintetiza la idea central de esta investigación: la IA y el IIoT generan capacidades tecnológicas que, al integrarse mediante capacidades

organizativas y humanas, favorecen el desarrollo de organizaciones industriales más sostenibles y resilientes.

### **4.3 Componentes del modelo**

El modelo estratégico propuesto se articula a partir de tres capacidades habilitadoras que permiten explicar el proceso de integración de la transformación digital dentro de la empresa industrial. Estas capacidades representan los principales mecanismos mediante los cuales la organización puede transformar el potencial de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) en resultados asociados a la sostenibilidad y la resiliencia.

Las tres capacidades identificadas son la dimensión tecnológica, la dimensión organizativa y la dimensión humana. Aunque cada una desempeña funciones específicas dentro del modelo, su contribución depende de la interacción conjunta entre ellas. La tecnología proporciona conectividad e inteligencia operativa; la organización integra dichas capacidades dentro de sus procesos y decisiones; y las personas facilitan su adopción, interpretación y utilización efectiva.

Desde esta perspectiva, el modelo no se basa en una lógica secuencial o jerárquica, sino en la interacción continua entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. Esta interacción permite transformar información en conocimiento, conocimiento en decisiones y decisiones en resultados estratégicos orientados a la sostenibilidad y la resiliencia.

Los apartados siguientes desarrollan el papel de cada una de estas dimensiones dentro de la lógica general del modelo estratégico.

#### **4.3.1 Dimensión tecnológica**

La dimensión tecnológica constituye la base habilitadora del modelo estratégico, ya que proporciona los datos, la conectividad y la inteligencia necesarios para apoyar los procesos de transformación digital dentro de la empresa industrial. Su función principal consiste en generar información relevante sobre el funcionamiento del sistema productivo y facilitar capacidades de análisis, predicción y optimización que

posteriormente puedan ser utilizadas por la organización y las personas para mejorar la toma de decisiones.

Dentro del modelo, la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) desempeñan un papel central. Mientras el IIoT permite capturar información procedente de máquinas, equipos y procesos industriales, la IA transforma dicha información en conocimiento útil para la toma de decisiones. Esta complementariedad permite desarrollar sistemas más inteligentes, capaces de monitorizar operaciones, detectar anomalías y anticipar situaciones futuras.

Junto a estas tecnologías, otros elementos como los sistemas ciberfísicos, los gemelos digitales, el *edge computing*, la interoperabilidad y la ciberseguridad refuerzan la capacidad del sistema para integrar información, coordinar procesos y responder de forma eficiente a cambios del entorno. En conjunto, estas capacidades permiten desarrollar una infraestructura digital capaz de soportar procesos de adaptación y aprendizaje dentro de la organización.

Desde la perspectiva del modelo propuesto, la dimensión tecnológica no constituye un resultado en sí misma, sino el punto de partida del proceso de transformación digital. Su función consiste en generar conectividad, visibilidad operativa e inteligencia analítica que posteriormente serán integradas mediante capacidades organizativas y humanas.

Con el fin de sintetizar el papel de los principales elementos tecnológicos dentro del modelo, la Tabla 9 recoge su contribución específica.

**Tabla 9: Papel de los elementos tecnológicos dentro del modelo**

| Elemento tecnológico           | Papel dentro del modelo                               |
|--------------------------------|---|
| <b>Inteligencia Artificial</b> | Generar inteligencia operativa y capacidad predictiva |
| <b>IIoT</b>                    | Capturar datos y proporcionar conectividad            |
| <b>Sistemas ciberfísicos</b>   | Integrar entorno físico y digital                     |
| <b>Gemelos digitales</b>       | Simular escenarios y anticipar comportamientos        |
| <b>Edge computing</b>          | Facilitar respuestas rápidas en tiempo real           |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Interoperabilidad</b> | Conectar sistemas y fuentes de información    |
| <b>Ciberseguridad</b>    | Garantizar protección y continuidad operativa |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 9, la dimensión tecnológica proporciona las capacidades necesarias para generar información y conocimiento dentro del sistema industrial. Sin embargo, el modelo plantea que estas capacidades solo pueden traducirse en resultados estratégicos cuando son integradas mediante mecanismos organizativos y humanos adecuados. Por ello, la tecnología actúa como una condición necesaria para la transformación digital, pero no como una condición suficiente para generar sostenibilidad y resiliencia.

#### 4.3.2 Dimensión organizativa

La dimensión organizativa actúa como el principal mecanismo de integración entre las capacidades tecnológicas y los resultados estratégicos perseguidos por la organización. Su función consiste en transformar los datos, la conectividad y la inteligencia operativa generados por la tecnología en decisiones, procesos y capacidades capaces de generar valor sostenible dentro de la empresa industrial.

Dentro del modelo, la organización desempeña un papel fundamental porque permite coordinar recursos, adaptar procesos y orientar la transformación digital hacia objetivos estratégicos concretos. Desde esta perspectiva, la incorporación de tecnologías como la IA y el IIoT no se considera un fin en sí mismo, sino una herramienta que debe alinearse con las necesidades, prioridades y capacidades de la organización.

La dimensión organizativa integra elementos como las capacidades dinámicas, la estrategia digital, la gobernanza del dato, la coordinación transversal, la flexibilidad organizativa, el aprendizaje continuo y la gestión del cambio. En conjunto, estos elementos permiten que la organización pueda identificar oportunidades asociadas a las tecnologías digitales, movilizar recursos para su implementación y adaptar continuamente sus procesos ante nuevas condiciones del entorno.

Asimismo, esta dimensión desempeña un papel esencial en la coordinación entre diferentes áreas funcionales de la empresa. La integración efectiva de IA e IIoT

requiere que la información generada por los sistemas digitales pueda compartirse, interpretarse y utilizarse de manera coherente dentro de la organización. Por ello, mecanismos como la gobernanza del dato y la coordinación transversal adquieren una importancia significativa dentro del modelo.

Desde la lógica del modelo propuesto, la dimensión organizativa constituye el elemento que convierte las capacidades tecnológicas en capacidades estratégicas. Sin mecanismos de adaptación, coordinación y aprendizaje, la información generada por la tecnología difícilmente puede traducirse en mejoras sostenibles dentro del sistema industrial.

Con el fin de sintetizar el papel de los principales elementos organizativos, la Tabla 10 recoge su contribución dentro del modelo estratégico.

**Tabla 10: Papel de los elementos organizativos dentro del modelo**

| <b>Elemento organizativo</b>     | <b>Papel dentro del modelo</b>                      |
|----------------------------------|---|
| <b>Capacidades dinámicas</b>     | Adaptar y reconfigurar recursos y procesos          |
| <b>Estrategia digital</b>        | Alinear tecnología y objetivos empresariales        |
| <b>Gobernanza del dato</b>       | Garantizar decisiones basadas en información fiable |
| <b>Coordinación transversal</b>  | Integrar áreas, procesos y recursos                 |
| <b>Flexibilidad organizativa</b> | Facilitar la adaptación ante cambios                |
| <b>Aprendizaje organizativo</b>  | Impulsar la mejora continua                         |
| <b>Gestión del cambio</b>        | Favorecer la implantación de nuevas tecnologías     |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 10, la dimensión organizativa proporciona los mecanismos necesarios para transformar las capacidades tecnológicas en capacidades estratégicas. En consecuencia, actúa como el principal puente entre la tecnología y los resultados perseguidos por el modelo, permitiendo que la información generada por los sistemas digitales pueda traducirse en sostenibilidad y resiliencia dentro de la organización.

### 4.3.3 Dimensión humana

La dimensión humana permite que la transformación digital sea adoptada, comprendida y sostenida dentro de la organización. Su función principal consiste en facilitar la utilización efectiva de las tecnologías digitales mediante el desarrollo de competencias, capacidades de interpretación, confianza y mecanismos de colaboración que permitan integrar la tecnología en los procesos de trabajo y toma de decisiones.

Dentro del modelo, las personas no se consideran usuarias pasivas de la tecnología, sino agentes activos del proceso de transformación digital. Desde esta perspectiva, la incorporación de IA e IIoT exige el desarrollo de capacidades que permitan comprender la información generada por los sistemas digitales, interpretar sus resultados y supervisar su utilización dentro del entorno industrial.

La dimensión humana integra elementos como las competencias digitales, las capacidades analíticas humanas, la aceptación tecnológica, la confianza en los sistemas inteligentes, el liderazgo digital y la colaboración humano-máquina. En conjunto, estos elementos permiten que las tecnologías digitales sean utilizadas de manera efectiva y contribuyan realmente a la mejora del desempeño organizativo.

Asimismo, esta dimensión desempeña un papel esencial en los procesos de aprendizaje y adaptación. La transformación digital implica cambios continuos en tecnologías, procesos y formas de trabajo, por lo que la capacidad de las personas para aprender, adaptarse y colaborar se convierte en un factor determinante para el éxito de la organización.

Otro aspecto especialmente relevante es la supervisión humana de los sistemas inteligentes. Aunque la IA puede proporcionar capacidades avanzadas de análisis y predicción, las personas continúan desempeñando funciones relacionadas con la interpretación contextual, el juicio crítico y la toma de decisiones en situaciones complejas. Por ello, el modelo adopta una lógica de complementariedad entre capacidades humanas y capacidades tecnológicas.

Con el fin de sintetizar el papel de los principales elementos humanos dentro del modelo, la Tabla 11 recoge su contribución específica.

**Tabla 11: Papel de los elementos humanos dentro del modelo**

| <b>Elemento humano</b>                | <b>Papel dentro del modelo</b>                                  |
|---------------------------------------|---|
| <b>Competencias digitales</b>         | Facilitar el uso efectivo de IA e IIoT                          |
| <b>Capacidades analíticas humanas</b> | Interpretar información y supervisar sistemas inteligentes      |
| <b>Aceptación tecnológica</b>         | Favorecer la adopción real de nuevas tecnologías                |
| <b>Confianza</b>                      | Reforzar la legitimidad y utilización de los sistemas digitales |
| <b>Liderazgo digital</b>              | Impulsar y coordinar la transformación                          |
| <b>Colaboración humano-máquina</b>    | Integrar capacidades humanas y tecnológicas                     |
| <b>Ética y supervisión humana</b>     | Garantizar un uso responsable de la tecnología                  |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 11, la dimensión humana aporta las capacidades necesarias para que la transformación digital pueda consolidarse dentro de la organización. En consecuencia, actúa como un complemento indispensable de las dimensiones tecnológica y organizativa, permitiendo que la información generada por los sistemas digitales pueda convertirse en aprendizaje, adaptación y creación de valor.

#### **4.4 Resultados estratégicos del modelo**

El modelo estratégico propuesto orienta la integración de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas hacia la obtención de dos resultados estratégicos principales: la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa. Ambos resultados representan la finalidad última del proceso de transformación digital industrial y permiten evaluar la contribución de la IA y el IIoT más allá de criterios exclusivamente tecnológicos u operativos.

Desde esta perspectiva, la sostenibilidad y la resiliencia no se consideran dimensiones habilitadoras al mismo nivel que la tecnología, la organización o las personas, sino resultados derivados de su interacción. Mientras la sostenibilidad se

relaciona con la generación de valor económico, ambiental y social a largo plazo, la resiliencia se vincula con la capacidad de anticipar, responder y adaptarse frente a cambios o disrupciones del entorno.

Esta diferenciación permite simplificar la lógica del modelo y evitar una lectura excesivamente fragmentada de la transformación digital industrial. La tecnología proporciona datos e inteligencia; la organización integra dichas capacidades en procesos y decisiones; y las personas facilitan su adopción, interpretación y supervisión. Como resultado de esta integración, la empresa industrial puede avanzar hacia mayores niveles de sostenibilidad y resiliencia.

Los siguientes apartados desarrollan el papel de ambos resultados dentro del modelo estratégico propuesto.

#### 4.4.1 Sostenibilidad estratégica

Dentro del modelo propuesto, la sostenibilidad estratégica representa la capacidad de generar valor económico, ambiental y social mediante la integración de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. Desde esta perspectiva, la transformación digital industrial no se orienta únicamente a mejorar la eficiencia operativa, sino también a contribuir al desarrollo de sistemas industriales más sostenibles y responsables a largo plazo.

La dimensión económica de la sostenibilidad se refleja en la mejora de la productividad, la optimización de recursos y el fortalecimiento de la competitividad empresarial. La utilización de tecnologías como la IA y el IIoT permite mejorar la toma de decisiones, reducir ineficiencias y favorecer una gestión más eficiente de los procesos industriales.

Por su parte, la dimensión ambiental se relaciona con la capacidad de reducir consumos energéticos, minimizar desperdicios y optimizar la utilización de materiales y recursos. La disponibilidad de información en tiempo real y las capacidades de análisis proporcionadas por las tecnologías digitales facilitan la identificación de oportunidades de mejora y favorecen una gestión más eficiente del sistema productivo.

La dimensión social incorpora aspectos relacionados con el bienestar de las personas, el desarrollo de competencias, la seguridad laboral y la creación de

entornos de trabajo más participativos y adaptativos. En este sentido, la dimensión humana del modelo desempeña una función especialmente relevante al facilitar la adopción efectiva de las tecnologías digitales y promover procesos de aprendizaje continuo dentro de la organización.

Desde la lógica del modelo estratégico, la sostenibilidad no surge únicamente de la implantación tecnológica. La generación de valor económico, ambiental y social depende de la capacidad de la organización para integrar la información proporcionada por las tecnologías digitales dentro de sus procesos y de la capacidad de las personas para utilizar dicha información de forma efectiva.

En consecuencia, la sostenibilidad estratégica constituye uno de los principales resultados perseguidos por el modelo y refleja la capacidad de la empresa industrial para transformar la digitalización en una fuente de creación de valor sostenible a largo plazo.

#### 4.4.2 Resiliencia operativa

La resiliencia operativa representa la capacidad del sistema industrial para mantener su funcionamiento y adaptarse ante cambios, fallos o interrupciones que puedan afectar al desarrollo normal de las operaciones. Dentro del modelo propuesto, la resiliencia constituye un resultado estratégico estrechamente vinculado a la capacidad de anticipación, respuesta y adaptación de la organización frente a entornos caracterizados por incertidumbre y cambio continuo.

La integración de IA e IIoT contribuye al fortalecimiento de la resiliencia mediante la generación de información en tiempo real, la monitorización continua de procesos y el desarrollo de capacidades predictivas. Estas tecnologías permiten detectar anomalías, identificar riesgos potenciales y anticipar situaciones que podrían afectar al funcionamiento del sistema industrial, favoreciendo una respuesta más rápida y fundamentada.

No obstante, el modelo plantea que la resiliencia no depende exclusivamente de la disponibilidad de tecnologías avanzadas. La capacidad de responder y adaptarse ante cambios también requiere mecanismos organizativos capaces de reconfigurar procesos, coordinar recursos y facilitar la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre. En este sentido, elementos como las capacidades dinámicas, la

flexibilidad organizativa y el aprendizaje continuo desempeñan una función esencial dentro del modelo.

Asimismo, la dimensión humana contribuye de manera significativa a la resiliencia operativa. La capacidad de interpretar información, supervisar sistemas inteligentes y tomar decisiones en contextos complejos continúa dependiendo en gran medida de las personas que forman parte de la organización. Por ello, competencias digitales, liderazgo, confianza y colaboración humano-máquina constituyen factores relevantes para sostener la capacidad adaptativa del sistema industrial.

Desde esta perspectiva, la resiliencia emerge como el resultado de la interacción entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. La tecnología aporta visibilidad y capacidad de anticipación; la organización facilita adaptación y coordinación; y las personas contribuyen mediante aprendizaje, interpretación y toma de decisiones.

En consecuencia, la resiliencia operativa constituye, junto con la sostenibilidad estratégica, uno de los principales resultados del modelo propuesto y refleja la capacidad de la empresa industrial para afrontar cambios, responder a disrupciones y mantener la creación de valor en el tiempo.

#### **4.5 Funcionamiento dinámico del modelo**

Una vez definidos los componentes y resultados estratégicos del modelo, resulta necesario explicar la dinámica de funcionamiento que permite conectar las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas con la sostenibilidad y la resiliencia. Desde esta perspectiva, el modelo no se concibe como una estructura estática, sino como un sistema dinámico basado en la generación, integración y utilización continua de información dentro de la empresa industrial.

La lógica de funcionamiento del modelo puede comprenderse a través de cinco etapas interrelacionadas que transforman datos en decisiones y decisiones en resultados estratégicos.

En primer lugar, se produce la captura de datos mediante tecnologías asociadas al Internet Industrial de las Cosas. Sensores, dispositivos conectados y sistemas

industriales generan información en tiempo real sobre el estado de máquinas, procesos y operaciones, proporcionando una mayor visibilidad del funcionamiento del sistema productivo.

En segundo lugar, la información capturada es procesada mediante tecnologías de Inteligencia Artificial y herramientas de análisis de datos. Este proceso permite transformar los datos en inteligencia operativa mediante la identificación de patrones, la detección de anomalías y la generación de predicciones o recomendaciones orientadas a la toma de decisiones.

La tercera etapa corresponde a la integración organizativa. La organización incorpora la información generada por los sistemas digitales dentro de sus procesos, mecanismos de gobernanza y sistemas de decisión. De esta forma, los datos dejan de constituir únicamente información operativa y pasan a convertirse en un recurso estratégico para la adaptación y mejora continua.

En cuarto lugar, se produce la adopción humana de las capacidades tecnológicas. Las personas interpretan la información disponible, supervisan los sistemas inteligentes y participan en la toma de decisiones mediante competencias digitales, confianza y liderazgo. Esta interacción garantiza que la tecnología pueda utilizarse de forma efectiva dentro de la organización y refuerza la capacidad de aprendizaje del sistema.

Finalmente, la integración entre tecnología, organización y personas genera resultados asociados a la sostenibilidad y la resiliencia. La organización mejora su capacidad para optimizar recursos, crear valor económico, ambiental y social, así como anticipar, responder y adaptarse frente a cambios o disrupciones del entorno.

Con el fin de sintetizar esta dinámica de funcionamiento, la Figura 6 representa el flujo general de transformación planteado por el modelo estratégico.

**Figura 6: Funcionamiento dinámico del modelo estratégico**



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 6, el funcionamiento del modelo se basa en la transformación progresiva de datos en inteligencia, de inteligencia en decisiones y de decisiones en resultados estratégicos. Esta lógica permite comprender la transformación digital industrial como un proceso continuo de integración entre tecnología, organización y personas orientado a la creación de valor sostenible y al fortalecimiento de la resiliencia empresarial.

#### **4.6 Condiciones de implementación y sistema de indicadores**

La utilidad del modelo estratégico propuesto depende de la capacidad de la organización para desarrollar las condiciones necesarias que permitan integrar de manera efectiva las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas descritas en los apartados anteriores. En este sentido, la transformación digital industrial no debe entenderse como la simple incorporación de tecnologías avanzadas, sino como un proceso progresivo de adaptación que requiere recursos, competencias y mecanismos de coordinación adecuados.

Asimismo, la implementación del modelo requiere instrumentos que permitan evaluar su evolución y analizar hasta qué punto las capacidades desarrolladas contribuyen a la sostenibilidad y la resiliencia de la organización. Por ello, el modelo incorpora una

propuesta básica de condiciones de implementación y un sistema de indicadores orientado a facilitar su seguimiento y evaluación.

Los siguientes apartados presentan las principales condiciones necesarias para el despliegue del modelo y una propuesta de indicadores alineada con sus componentes y resultados estratégicos.

#### 4.6.1 Condiciones para la implementación del modelo

La implementación efectiva del modelo estratégico requiere la existencia de determinadas condiciones que faciliten la integración de las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas dentro de la empresa industrial. Estas condiciones no deben interpretarse como requisitos rígidos, sino como factores que favorecen el desarrollo progresivo de procesos de transformación digital orientados a la sostenibilidad y la resiliencia.

Desde una perspectiva tecnológica, resulta especialmente relevante disponer de niveles adecuados de conectividad, calidad del dato, interoperabilidad y ciberseguridad. Estas capacidades permiten garantizar la disponibilidad de información fiable, asegurar el funcionamiento coordinado de los sistemas digitales y facilitar la integración entre tecnologías, procesos y plataformas de gestión.

En el ámbito organizativo, la implementación requiere mecanismos relacionados con la estrategia digital, la gobernanza del dato, la coordinación interna y la capacidad de adaptación. Estos elementos permiten alinear la tecnología con los objetivos empresariales, facilitar la toma de decisiones basada en información y reforzar la capacidad de respuesta de la organización ante cambios del entorno.

Por su parte, la dimensión humana exige el desarrollo de competencias digitales, aceptación tecnológica, liderazgo y aprendizaje continuo. La capacidad de las personas para comprender, utilizar e interpretar la información generada por los sistemas digitales constituye un elemento esencial para garantizar la adopción efectiva de las tecnologías y consolidar los procesos de transformación organizativa.

Asimismo, la organización debe incorporar una orientación explícita hacia la sostenibilidad y la resiliencia como criterios que guíen el proceso de transformación digital. Desde esta perspectiva, la adopción tecnológica debe contribuir no solo a mejorar la eficiencia operativa, sino también a fortalecer la capacidad adaptativa de

la empresa y favorecer la creación de valor económico, ambiental y social a largo plazo.

Con el fin de sintetizar las principales condiciones necesarias para la implementación del modelo, la Tabla 12 recoge los ámbitos considerados y los elementos asociados a cada uno de ellos.

**Tabla 12: Condiciones para la implementación del modelo estratégico**

| Ámbito                         | Condiciones principales  |
|--------------------------------|--|
| <b>Tecnológico</b>             | Conectividad, calidad del dato, interoperabilidad y ciberseguridad               |
| <b>Organizativo</b>            | Estrategia digital, gobernanza del dato, coordinación y flexibilidad             |
| <b>Humano</b>                  | Competencias digitales, aceptación tecnológica, liderazgo y aprendizaje continuo |
| <b>Resultados estratégicos</b> | Orientación a sostenibilidad y resiliencia                                       |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 12, la implementación del modelo requiere una combinación equilibrada de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas. La ausencia o insuficiente desarrollo de alguno de estos ámbitos puede limitar la capacidad de la organización para integrar IA e IIoT de forma efectiva y, en consecuencia, dificultar la obtención de resultados asociados a la sostenibilidad y la resiliencia. Por ello, estas condiciones deben entenderse como elementos facilitadores que contribuyen a crear un entorno favorable para el despliegue del modelo estratégico propuesto.

#### 4.6.2 Indicadores de evaluación del modelo

Con el fin de facilitar el seguimiento y evaluación del modelo estratégico propuesto, se plantea un conjunto de indicadores organizados de acuerdo con las tres capacidades habilitadoras y los dos resultados estratégicos identificados en la investigación. La finalidad de estos indicadores no es constituir un sistema de medición exhaustivo, sino proporcionar una referencia conceptual que permita analizar el grado de desarrollo e integración de los distintos componentes del modelo.

Desde esta perspectiva, la evaluación se orienta a comprobar si las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas están contribuyendo efectivamente a la generación de sostenibilidad y resiliencia dentro de la empresa industrial. Asimismo, los indicadores permiten identificar fortalezas, limitaciones y posibles áreas de mejora dentro de los procesos de transformación digital.

Con el fin de sintetizar la propuesta de evaluación, la Tabla 13 recoge los principales ámbitos considerados, los aspectos que se pretenden medir y algunos indicadores representativos asociados a cada uno de ellos.

**Tabla 13: Indicadores de evaluación del modelo estratégico**

| Bloque de evaluación  | Qué mide  | KPIs  |
|-----------------------|---|---|
| <b>Tecnología</b>     | Madurez digital y capacidad analítica             | Nivel de sensorización, calidad del dato, utilización de IA, interoperabilidad entre sistemas                   |
| <b>Organización</b>   | Integración y capacidad adaptativa                | Gobernanza del dato, coordinación transversal, flexibilidad organizativa, aprendizaje organizativo              |
| <b>Personas</b>       | Adopción y capacidades humanas                    | Competencias digitales, aceptación tecnológica, confianza en sistemas inteligentes, liderazgo digital           |
| <b>Sostenibilidad</b> | Generación de valor económico, ambiental y social | Productividad, eficiencia energética, reducción de residuos, formación y bienestar laboral                      |
| <b>Resiliencia</b>    | Capacidad de anticipación y respuesta             | Tiempo de respuesta ante incidencias, continuidad operativa, capacidad de recuperación, incidencias anticipadas |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 13, la propuesta de evaluación combina indicadores relacionados con capacidades habilitadoras y resultados estratégicos. Esta aproximación permite analizar la transformación digital desde una perspectiva integral, evitando enfoques centrados exclusivamente en el rendimiento tecnológico o en variables operativas aisladas.

Asimismo, el sistema de indicadores mantiene una coherencia directa con la estructura del modelo estratégico, ya que permite evaluar la contribución de la tecnología, la organización y las personas a la generación de sostenibilidad y resiliencia. De este modo, la evaluación se convierte en un mecanismo de apoyo para el aprendizaje organizativo y la mejora continua, reforzando la capacidad adaptativa de la empresa industrial.

## **5. Discusión de resultados**

El presente capítulo tiene como objetivo interpretar el alcance y las aportaciones del modelo estratégico desarrollado a lo largo de la investigación. A diferencia de los capítulos anteriores, centrados en la fundamentación teórica y en el diseño del modelo, la discusión adopta una perspectiva crítica orientada a analizar cómo la propuesta desarrollada contribuye a la literatura sobre transformación digital industrial y responde al problema de investigación planteado.

La discusión se estructura en torno a cuatro aspectos principales. En los tres primeros apartados se desarrollan las principales aportaciones e implicaciones teóricas del trabajo, articuladas como contribución a la literatura sobre transformación digital industrial. En primer lugar, se analiza la contribución teórica del modelo frente a enfoques predominantemente tecnocéntricos de la transformación digital. Posteriormente, se examina la lógica explicativa del modelo, centrada en el papel de las capacidades organizativas y humanas como mecanismo que permite traducir los drivers tecnológicos en resultados estratégicos. A continuación, se valora la contribución conceptual del modelo al desarrollo de la transición hacia paradigmas post-Industria 4.0, en particular en relación con los principios asociados a la Industria 5.0 y los enfoques emergentes vinculados a la Industria 6.0. Finalmente, se presentan las implicaciones prácticas del modelo para empresas industriales.

### **5.1. Aportación frente a enfoques tecnocéntricos**

Uno de los principales aportes del modelo estratégico desarrollado consiste en superar una visión de la transformación digital centrada exclusivamente en la implantación de tecnologías avanzadas. Aunque la literatura sobre Industria 4.0 ha contribuido significativamente a la difusión de tecnologías como la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas, numerosos estudios continúan analizando estos elementos principalmente desde una perspectiva tecnológica y operativa.

Frente a este enfoque, el modelo propuesto plantea que la generación de valor no depende únicamente de la disponibilidad de capacidades tecnológicas, sino de la capacidad de la organización para integrarlas dentro de sus procesos y de la

capacidad de las personas para utilizarlas de forma efectiva. Desde esta perspectiva, la tecnología deja de entenderse como el elemento central de la transformación digital para convertirse en un habilitador de procesos más amplios de adaptación, aprendizaje y creación de valor.

Esta aproximación permite interpretar la transformación digital industrial como un fenómeno multidimensional en el que tecnología, organización y personas actúan de forma complementaria. Como consecuencia, el modelo desplaza el foco desde la implantación tecnológica hacia la integración estratégica de capacidades tecnológicas, organizativas y humanas.

Asimismo, la propuesta desarrollada amplía el alcance de enfoques tradicionales centrados principalmente en eficiencia y automatización, incorporando explícitamente objetivos relacionados con sostenibilidad y resiliencia. De este modo, el modelo ofrece una visión más alineada con los desafíos actuales de la industria y con los principios emergentes asociados a la Industria 5.0 y la Industria 6.0.

En consecuencia, una de las principales contribuciones del modelo consiste en proporcionar una explicación más integrada de la transformación digital industrial, mostrando que la tecnología constituye una condición necesaria para el cambio, pero no suficiente para generar resultados sostenibles y resilientes.

## **5.2 Papel de las capacidades organizativas y humanas**

La revisión de la literatura realizada puso de manifiesto que la incorporación de tecnologías digitales no garantiza por sí misma una transformación efectiva de la empresa industrial. En este contexto, uno de los principales aportes del modelo desarrollado consiste en destacar el papel de las capacidades organizativas y humanas como mecanismos necesarios para convertir las capacidades tecnológicas en resultados estratégicos.

Desde la perspectiva organizativa, la teoría de capacidades dinámicas proporciona una explicación adecuada para comprender cómo las organizaciones pueden adaptarse a entornos caracterizados por una elevada complejidad tecnológica y competitiva. La capacidad para identificar oportunidades, movilizar recursos y reconfigurar procesos permite transformar la información generada por tecnologías

como la IA y el IIoT en capacidades organizativas orientadas a la sostenibilidad y la resiliencia.

Asimismo, la gobernanza del dato adquiere una relevancia especial dentro del modelo. La disponibilidad de información en tiempo real solo genera valor cuando existen mecanismos que garanticen su calidad, interpretación y utilización efectiva dentro de los procesos de decisión. Desde esta perspectiva, la gobernanza actúa como un elemento de conexión entre las capacidades tecnológicas y las capacidades organizativas de la empresa.

Otro aspecto especialmente relevante es el papel de la cultura organizativa y el aprendizaje continuo. La transformación digital implica cambios permanentes en tecnologías, procesos y formas de trabajo, por lo que las organizaciones necesitan desarrollar capacidades que favorezcan la adaptación y la mejora continua. En consecuencia, la cultura digital y el aprendizaje organizativo se convierten en elementos esenciales para sostener la evolución del sistema industrial a largo plazo.

Por otra parte, la dimensión humana ocupa una posición central dentro del modelo propuesto. La literatura asociada a la Industria 5.0 y al enfoque *human-centric* señala que las personas no deben entenderse como simples usuarias de la tecnología, sino como participantes activos del proceso de transformación digital. Esta perspectiva se refleja en el modelo mediante la incorporación de competencias digitales, aceptación tecnológica, confianza y liderazgo como elementos fundamentales para la adopción efectiva de la IA y el IIoT.

Asimismo, la colaboración humano-máquina constituye uno de los aspectos más relevantes de la propuesta desarrollada. Mientras los sistemas inteligentes aportan capacidades relacionadas con el procesamiento de información y la generación de predicciones, las personas contribuyen mediante interpretación contextual, juicio crítico y capacidad de adaptación frente a situaciones complejas. Como consecuencia, la creación de valor surge de la complementariedad entre capacidades humanas y tecnológicas y no de la sustitución de unas por otras.

En conjunto, el modelo pone de manifiesto que la transformación digital industrial depende tanto de la disponibilidad de tecnologías avanzadas como de la capacidad de la organización y de las personas para integrarlas dentro de una lógica de

adaptación continua. Esta conclusión refuerza la importancia de las capacidades organizativas y humanas como elementos fundamentales para explicar la generación de sostenibilidad y resiliencia en entornos industriales digitalizados.

### **5.3 Contribución al enfoque de Industria 6.0**

La Industria 6.0 constituye un paradigma todavía emergente dentro de la literatura académica, caracterizado por la búsqueda de sistemas industriales más inteligentes, adaptativos, sostenibles y centrados en las personas. Sin embargo, gran parte de las contribuciones existentes continúan presentando un elevado nivel de abstracción conceptual y ofrecen orientaciones generales sobre la evolución futura de la industria, sin concretar claramente cómo integrar los diferentes elementos que intervienen en la transformación digital industrial.

En este contexto, una de las principales aportaciones del modelo desarrollado consiste en proporcionar una representación estructurada y simplificada de los principios asociados a la Industria 6.0. En lugar de interpretar este paradigma únicamente como una evolución tecnológica basada en capacidades avanzadas de automatización e inteligencia artificial, el modelo propone una visión más integradora en la que la creación de valor depende de la interacción entre tecnología, organización y personas.

Desde esta perspectiva, la propuesta desarrollada contribuye a trasladar los principios de la Industria 6.0 hacia una lógica más operativa y fácilmente interpretable. La integración de IA e IIoT se entiende como el punto de partida del proceso de transformación digital, mientras que las capacidades organizativas y humanas actúan como mecanismos que permiten convertir dichas capacidades tecnológicas en resultados de sostenibilidad y resiliencia.

Asimismo, el modelo incorpora de forma explícita elementos que aparecen de manera recurrente en la literatura reciente sobre Industria 6.0, como la adaptación continua, el aprendizaje organizativo, la centralidad humana y la orientación hacia la creación de valor sostenible. Esta integración permite superar visiones parciales centradas exclusivamente en la tecnología y favorece una comprensión más sistémica del fenómeno.

Otro aspecto relevante es la simplificación conceptual de la propuesta. Frente a modelos excesivamente complejos o estructurados en múltiples niveles y componentes, el modelo desarrollado se articula en torno a una lógica sencilla basada en tres capacidades habilitadoras y dos resultados estratégicos. Esta simplificación facilita su comprensión, aplicación y defensa académica, sin renunciar a la integración de los principales elementos identificados en la literatura.

En consecuencia, la contribución del modelo al enfoque de Industria 6.0 no reside únicamente en la incorporación de nuevas tecnologías, sino en la capacidad de ofrecer una explicación coherente de cómo la IA y el IIoT pueden contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia cuando se integran mediante capacidades organizativas y humanas adecuadas.

#### **5.4 Implicaciones para empresas industriales**

Desde una perspectiva práctica, el modelo estratégico desarrollado puede servir como una herramienta de referencia para orientar procesos de transformación digital industrial de forma más integrada y coherente. En lugar de abordar la implantación de tecnologías como la IA y el IIoT mediante iniciativas aisladas, la propuesta permite estructurar la transformación digital a partir de una visión que combina capacidades tecnológicas, organizativas y humanas dentro de una misma lógica estratégica.

Una de las principales implicaciones del modelo es que proporciona un marco para diagnosticar el grado de preparación de una organización frente a procesos de transformación digital. Desde esta perspectiva, las empresas pueden identificar si sus principales necesidades se relacionan con aspectos tecnológicos, organizativos o humanos, facilitando la priorización de acciones y recursos dentro de su estrategia de digitalización.

Asimismo, el modelo pone de manifiesto que la incorporación de tecnologías avanzadas no debe considerarse un objetivo independiente, sino una herramienta al servicio de la sostenibilidad y la resiliencia. Esta visión permite orientar las inversiones tecnológicas hacia la creación de valor a largo plazo y evita enfoques centrados exclusivamente en la automatización o la mejora puntual de la eficiencia operativa.

Otra implicación relevante es la importancia de desarrollar capacidades organizativas y humanas de manera paralela a la incorporación tecnológica. Elementos como la gobernanza del dato, el aprendizaje organizativo, las competencias digitales o el liderazgo adquieren una relevancia similar a la de las propias tecnologías, ya que condicionan directamente la capacidad de la organización para aprovechar su potencial.

El modelo también presenta una elevada flexibilidad de aplicación. Al estar basado en capacidades y no en tecnologías específicas o configuraciones industriales concretas, puede adaptarse a organizaciones con diferentes niveles de madurez digital, tamaños o sectores productivos. Esto facilita su utilización como guía estratégica tanto en empresas que se encuentran en fases iniciales de digitalización como en organizaciones con procesos de transformación más avanzados.

Además, la incorporación de sostenibilidad y resiliencia como resultados estratégicos permite ampliar los criterios tradicionales utilizados para evaluar la transformación digital. Las empresas pueden utilizar el modelo no solo para mejorar productividad o eficiencia, sino también para fortalecer su capacidad de adaptación, reducir impactos ambientales y desarrollar entornos de trabajo más sostenibles y preparados para afrontar cambios futuros.

Adicionalmente, el sistema de indicadores propuesto permite apoyar el seguimiento y la evaluación del proceso de transformación digital, identificando áreas de mejora y reforzando el aprendizaje organizativo y la mejora continua.

En consecuencia, el modelo propuesto ofrece una herramienta conceptual que puede ayudar a las empresas industriales a ordenar sus procesos de transformación digital, identificar áreas prioritarias de actuación y orientar la integración de IA e IIoT hacia resultados de sostenibilidad y resiliencia alineados con los principios de la Industria 6.0.

## **5.5 Síntesis de la discusión**

La discusión realizada permite interpretar el modelo estratégico desarrollado desde una perspectiva teórica y aplicada, analizando su contribución a la literatura sobre transformación digital industrial y su potencial utilidad para la empresa industrial.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la transformación digital no puede explicarse únicamente mediante la incorporación de tecnologías avanzadas. Aunque la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas constituyen elementos fundamentales para el desarrollo de sistemas industriales inteligentes, la generación de valor depende de la capacidad de las organizaciones para integrar dichas tecnologías dentro de sus procesos y de la capacidad de las personas para utilizarlas, supervisarlas y adaptarse a ellas.

Asimismo, la discusión ha permitido destacar el papel de las capacidades organizativas y humanas como mecanismos esenciales para transformar las capacidades tecnológicas en resultados estratégicos. Desde esta perspectiva, la sostenibilidad y la resiliencia no se entienden como consecuencias directas de la implantación tecnológica, sino como resultados derivados de la interacción entre tecnología, organización y personas.

Otro aspecto relevante es la contribución del modelo al desarrollo conceptual de la Industria 6.0. La propuesta ofrece una representación simplificada e integrada de los principales elementos identificados en la literatura, facilitando la comprensión de cómo la IA y el IIoT pueden contribuir a la creación de valor sostenible dentro de entornos industriales complejos y dinámicos.

Desde una perspectiva conceptual, el modelo aporta una lógica parsimoniosa al estructurar la transformación digital industrial en tres capacidades habilitadoras (tecnológica, organizativa y humana) orientadas a dos resultados estratégicos (sostenibilidad estratégica y resiliencia operativa).

En conjunto, la discusión permite concluir que el modelo propuesto responde al gap de investigación identificado al ofrecer una explicación coherente y simplificada de cómo la integración de IA e IIoT, apoyada por capacidades organizativas y humanas, puede contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia de la empresa industrial. Esta aportación proporciona una base conceptual sólida para orientar futuras investigaciones y procesos de transformación digital alineados con los principios de la Industria 6.0.

## **6. Conclusiones y líneas futuras de investigación**

### **6.1. Conclusiones del trabajo**

El presente Trabajo Fin de Máster ha tenido como objetivo diseñar un modelo estratégico para la integración de Inteligencia Artificial (IA) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT) en empresas industriales bajo los principios emergentes de la Industria 6.0. A partir de la revisión de la literatura y del desarrollo conceptual realizado, los resultados obtenidos permiten extraer varias conclusiones relevantes.

En primer lugar, la investigación pone de manifiesto que la transformación digital industrial no puede entenderse únicamente como un proceso de adopción tecnológica. Aunque tecnologías como la IA y el IIoT constituyen habilitadores fundamentales de los sistemas industriales inteligentes, su capacidad para generar valor depende de la existencia de mecanismos organizativos y humanos que permitan integrar dichas tecnologías dentro de la organización.

En segundo lugar, el trabajo confirma la relevancia de las capacidades organizativas como elemento de conexión entre tecnología y resultados estratégicos. Aspectos como las capacidades dinámicas, la estrategia digital, la gobernanza del dato y el aprendizaje organizativo desempeñan una función esencial para transformar la información generada por los sistemas digitales en decisiones, adaptación y mejora continua.

Asimismo, la dimensión humana emerge como un componente fundamental de la transformación digital industrial. Las competencias digitales, la aceptación tecnológica, la confianza, el liderazgo y la colaboración humano-máquina condicionan la utilización efectiva de las tecnologías digitales y refuerzan la capacidad de adaptación de la organización frente a entornos cada vez más complejos y cambiantes.

Otra conclusión relevante es que la sostenibilidad y la resiliencia deben entenderse como resultados estratégicos de la transformación digital y no únicamente como objetivos independientes de la organización. La investigación muestra que ambos resultados dependen de la interacción entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas, lo que refuerza la necesidad de adoptar enfoques integradores para gestionar la digitalización industrial.

Finalmente, el modelo desarrollado permite representar de forma sencilla y coherente la lógica de integración entre IA, IIoT, organización y personas. Desde esta perspectiva, la principal aportación del trabajo consiste en ofrecer una propuesta conceptual capaz de explicar cómo la transformación digital puede contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia dentro de la empresa industrial, proporcionando una visión alineada con los principios de la Industria 6.0.

## **6.2 Revisión del cumplimiento de los objetivos**

A partir de los resultados obtenidos, puede concluirse que el objetivo general de la investigación ha sido alcanzado de forma satisfactoria. El trabajo ha permitido diseñar un modelo estratégico para la integración de IA e IIoT en empresas industriales, articulando capacidades tecnológicas, organizativas y humanas orientadas a la sostenibilidad y la resiliencia dentro del contexto de la Industria 6.0.

En relación con los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación, puede realizarse la siguiente valoración:

El primer objetivo consistía en analizar el papel de la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas como tecnologías habilitadoras de la transformación digital industrial. Este objetivo se alcanzó mediante el desarrollo del marco teórico, donde se identificaron las principales capacidades asociadas a ambas tecnologías y su contribución a la generación de conectividad, información e inteligencia operativa dentro de los sistemas industriales.

El segundo objetivo se centraba en identificar las capacidades organizativas y humanas necesarias para integrar dichas tecnologías dentro de la empresa industrial. La revisión de la literatura permitió reconocer la importancia de elementos como las capacidades dinámicas, la estrategia digital, la gobernanza del dato, las competencias digitales, la aceptación tecnológica y la colaboración humano-máquina como factores clave para el éxito de la transformación digital.

El tercer objetivo consistía en fundamentar teóricamente el modelo a partir de constructos y enfoques relevantes relacionados con capacidades dinámicas, centralidad humana, sostenibilidad y resiliencia. Este objetivo se materializó mediante la construcción de un marco conceptual que permitió identificar cinco constructos

principales y establecer las relaciones teóricas que sirven de base al modelo estratégico desarrollado.

El cuarto objetivo planteaba explicar cómo la integración entre tecnología, organización y personas contribuye a la generación de sostenibilidad y resiliencia en entornos industriales. Los resultados obtenidos muestran que estos resultados estratégicos dependen de la interacción coordinada entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas, reforzando una visión integradora de la transformación digital industrial.

Finalmente, el quinto objetivo consistía en proponer un modelo estratégico simplificado y un sistema de indicadores orientado a apoyar procesos de transformación digital industrial. Este objetivo se alcanzó mediante el diseño del modelo presentado en el capítulo de resultados y la elaboración de una propuesta de indicadores alineada con sus principales componentes y resultados estratégicos.

En consecuencia, puede afirmarse que tanto el objetivo general como los objetivos específicos planteados al inicio del trabajo han sido cumplidos, proporcionando una respuesta coherente a la pregunta de investigación que ha guiado el desarrollo de la presente investigación.

### **6.3 Limitaciones del trabajo**

A pesar de las aportaciones realizadas, el presente trabajo presenta una serie de limitaciones que deben ser consideradas al interpretar sus resultados y su posible aplicación práctica.

En primer lugar, la investigación adopta un enfoque conceptual basado en la revisión y síntesis de literatura científica especializada. En consecuencia, el modelo estratégico desarrollado no ha sido validado empíricamente en entornos industriales reales, por lo que las relaciones planteadas entre sus componentes deben entenderse como relaciones teóricas fundamentadas en la literatura existente y no como relaciones causales demostradas mediante evidencia empírica.

En segundo lugar, el trabajo se desarrolla en el contexto de la Industria 6.0, un paradigma todavía emergente dentro de la investigación académica. Aunque la

literatura reciente permite identificar tendencias y principios comunes, la evolución futura de este enfoque puede dar lugar a nuevas interpretaciones o desarrollos conceptuales que complementen la propuesta presentada.

Asimismo, el modelo ha sido diseñado con una vocación generalista para facilitar su aplicación en distintos contextos industriales. Sin embargo, las características específicas de determinados sectores, organizaciones o procesos productivos pueden requerir adaptaciones adicionales para su implementación efectiva.

Otra limitación está relacionada con algunos de los indicadores propuestos, especialmente aquellos vinculados a capacidades organizativas y humanas. La naturaleza cualitativa de determinados elementos puede dificultar su evaluación objetiva y resultar más compleja que la medición de variables tecnológicas u operativas, y requerir procedimientos complementarios de medición en aplicaciones futuras.

Finalmente, el trabajo se centra en explicar conceptualmente cómo la integración de IA e IIoT puede contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia mediante capacidades organizativas y humanas. Por ello, no analiza de forma específica el impacto de variables como el tamaño empresarial, el sector industrial o el nivel de madurez digital, factores que podrían influir en la aplicación práctica del modelo.

En consecuencia, las limitaciones identificadas ponen de manifiesto la necesidad de continuar desarrollando investigaciones que permitan validar, adaptar y ampliar la propuesta conceptual desarrollada en este trabajo y profundizar en su aplicación dentro de diferentes contextos industriales.

#### **6.4 Futuras líneas de investigación**

A partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas, pueden plantearse diversas líneas futuras de investigación orientadas a ampliar y consolidar el modelo estratégico desarrollado.

En primer lugar, resulta especialmente relevante avanzar en su validación empírica mediante estudios de caso, aplicaciones piloto o investigaciones desarrolladas en empresas industriales reales. Este tipo de trabajos permitiría analizar la aplicabilidad

práctica del modelo y evaluar la utilidad de los constructos y relaciones propuestos en diferentes contextos organizativos.

Asimismo, futuras investigaciones podrían profundizar en la adaptación sectorial del modelo, considerando las particularidades de distintos sectores industriales en términos de procesos productivos, requisitos tecnológicos, regulación y niveles de madurez digital. Esta línea permitiría desarrollar versiones más específicas y ajustadas a diferentes entornos empresariales.

Otra línea de investigación interesante consiste en ampliar y refinar el sistema de indicadores propuesto. La incorporación de métricas más específicas relacionadas con gobernanza del dato, capacidades organizativas, sostenibilidad o resiliencia permitiría mejorar los mecanismos de evaluación y seguimiento de los procesos de transformación digital industrial.

También resultaría de interés analizar con mayor profundidad las relaciones entre capacidades tecnológicas, organizativas y humanas mediante enfoques cuantitativos o modelos explicativos que permitan contrastar empíricamente las proposiciones formuladas en esta investigación.

Finalmente, la evolución de la Industria 6.0 abre nuevas oportunidades de investigación relacionadas con la integración de tecnologías emergentes, sistemas inteligentes avanzados, automatización cognitiva y nuevas formas de colaboración humano-máquina. El desarrollo de estas líneas permitirá ampliar la comprensión de los procesos de transformación digital y contribuir a la consolidación de este paradigma dentro de la literatura académica.

En consecuencia, las futuras investigaciones podrán complementar y ampliar la propuesta desarrollada en este trabajo, contribuyendo tanto a su validación práctica como a su evolución conceptual dentro del ámbito de la transformación digital industrial.

## **6.5 Cierre del trabajo**

La transformación digital industrial representa uno de los principales desafíos estratégicos para las organizaciones manufactureras en la actualidad. La creciente

incorporación de tecnologías como la Inteligencia Artificial y el Internet Industrial de las Cosas ofrece importantes oportunidades para mejorar la eficiencia, la capacidad de adaptación y la competitividad empresarial. Sin embargo, los resultados de esta investigación ponen de manifiesto que el valor de dichas tecnologías no depende únicamente de sus capacidades técnicas, sino de la forma en que se integran dentro de la organización y de la capacidad de las personas para utilizarlas de manera efectiva.

A lo largo de este trabajo se ha defendido una visión de la transformación digital basada en la interacción entre tecnología, organización y personas. Desde esta perspectiva, la IA y el IloT constituyen habilitadores fundamentales del cambio, pero su contribución a la sostenibilidad y la resiliencia solo puede materializarse cuando existen capacidades organizativas y humanas capaces de transformar la información en decisiones, aprendizaje y adaptación.

El modelo estratégico desarrollado pretende contribuir a esta visión integradora mediante una propuesta conceptual alineada con los principios emergentes de la Industria 6.0. Su principal aportación consiste en ofrecer una explicación sencilla y coherente de cómo las capacidades tecnológicas, organizativas y humanas pueden combinarse para generar valor sostenible dentro de la empresa industrial.

En definitiva, el futuro de la transformación digital industrial dependerá no solo del desarrollo de tecnologías cada vez más avanzadas, sino también de la capacidad de las organizaciones para integrarlas de forma estratégica, sostenible y centrada en las personas. En este contexto, la sostenibilidad y la resiliencia se consolidan como objetivos fundamentales para orientar la evolución de los sistemas industriales hacia modelos más inteligentes, adaptativos y preparados para afrontar los desafíos del futuro.

## 7. Bibliografía

- Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>
- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, 10(10), 3740. <https://doi.org/10.3390/su10103740>
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The Industrial Internet of Things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>
- Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
- Cui, Y., Kara, S., & Chan, K. C. (2020). Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 62, 101861. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101861>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- European Commission. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union.
- Fernández-Miguel, A., Ortíz-Marcos, S., Jiménez-Calzado, M., Fernández del Hoyo, A. P., García-Muiña, F. E., & Settembre-Blundo, D. (2025). Toward the theoretical foundations of Industry 6.0: A framework for AI-driven decentralized manufacturing control. *Future Internet*, 17(10), 455. <https://doi.org/10.3390/fi17100455>
- Floridi, L., Cows, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E.

- (2018). AI4People, an ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28, 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Gao, R. X., Krüger, J., Merklein, M., Möhring, H. C., & Váncza, J. (2024). Artificial intelligence in manufacturing: State of the art, perspectives, and future directions. *CIRP Annals*, 73(2), 723–749. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2024.04.101>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Tseng, M. L., Grybauskas, A., Stefanini, A., & Amran, A. (2023). Behind the definition of Industry 5.0: A systematic review of technologies, principles, components, and values. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 40(6), 432–447. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2216701>
- Ghosh, S., Hughes, M., Hodgkinson, I., & Hughes, P. (2022). Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach. *Technovation*, 113, 102414. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102414>
- Hess, T., Matt, C., Benlian, A., & Wiesböck, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 123–139.
- Industrial Internet Consortium. (2022). The Industrial Internet of Things volume G1: Reference architecture. Industrial Internet Consortium.
- Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: Integrating agility, resilience and sustainability perspectives: Lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, 319, 1411–1431. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-6>
- Khan, I. S., Ahmad, M. O., & Majava, J. (2021). Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126655>

- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2018). Industrial artificial intelligence for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 18, 20–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.09.002>
- Leng, J., Wang, D., Shen, W., Li, X., Liu, Q., & Chen, X. (2021). Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 119–137. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.011>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0: A systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Lu, Y., Zheng, H., Chand, S., Xia, W., Liu, Z., Xu, X., Wang, L., Qin, Z., & Bao, J. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 612–627. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.001>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing and Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G., Sihn, W., & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in

- manufacturing. CIRP Annals, 65(2), 621–641.  
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.005>
- 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.016>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0: A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Perkins, M., Furze, L., Roe, J., & MacVaugh, J. (2024). The Artificial Intelligence Assessment Scale (AIAS): A framework for ethical integration of generative AI in educational assessment. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, 21(06). <https://doi.org/10.53761/q3azde36>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. D. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646.  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563–3576.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415.  
<https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 51(1), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.06.007>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7%3C509::AID-SMJ882%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7%3C509::AID-SMJ882%3E3.0.CO;2-Z)

- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Verma, A., Prasad, V. K., Kumari, A., Bhattacharya, P., Srivastava, G., Fang, K., Wang, W., & Gadekallu, T. R. (2025). Industry 6.0: Vision, technical landscape, and opportunities. *Alexandria Engineering Journal*, 130, 139–174. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.08.040>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Warner, K. S. R., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*, 52(3), 326–349. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>
- Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K. D. (2016). Machine learning in manufacturing: Advantages, challenges, and applications. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 23–45. <https://doi.org/10.1080/21693277.2016.1192517>
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Zizic, M. C., Mladineo, M., Gjeldum, N., & Celent, L. (2022). From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A review and analysis of paradigm shift for the people, organization and technology. *Energies*, 15(14), 5221. <https://doi.org/10.3390/en15145221>

Zorrilla, M. E., & Yébenes, J. (2022). A reference framework for the implementation of data governance systems for Industry 4.0. *Computer Standards & Interfaces*, 81, 103595. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2021.103595>

## **ANEXO 1. Alineamiento del modelo IloT–AI con los ODS a nivel de metas e indicadores**

Este anexo formaliza el alineamiento entre los impactos del modelo estratégico propuesto y el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entendido como referencia internacional para integrar de forma conjunta las dimensiones económica, social y medioambiental del desarrollo. El modelo sostiene que la integración de la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet Industrial de las Cosas (IloT), cuando se articula mediante capacidades organizativas y humanas, genera impactos relevantes en la sostenibilidad estratégica y la resiliencia operativa de la empresa industrial. Estos impactos constituyen el punto de partida del alineamiento.

El marco de los ODS se estructura en 17 objetivos generales, desagregados en 169 metas y medidos mediante un conjunto global de 234 indicadores. Esta arquitectura permite construir una correspondencia trazable entre lo que el modelo pretende mejorar y lo que el marco internacional define y observa: los impactos del modelo se vinculan con metas relevantes, y dichas metas se conectan con los indicadores oficiales que describen el avance. En particular, la selección de metas e indicadores se realiza siguiendo el *Global Indicator Framework* oficial de Naciones Unidas para los ODS, utilizando los códigos de meta e indicador como base de trazabilidad del alineamiento. De este modo, el anexo muestra cómo los impactos del modelo conducen a la identificación de los ODS pertinentes dentro del marco global de sostenibilidad.

### **A1.X Impactos del modelo relevantes para el alineamiento con los ODS**

El modelo propuesto vincula la integración de IA e IloT con impactos de sostenibilidad que se manifiestan en el desempeño económico-productivo, ambiental y social de la empresa industrial. La contribución no se interpreta como un efecto automático de la tecnología, sino como el resultado de incorporar datos e inteligencia operativa en rutinas de decisión, coordinación y reconfiguración, sostenidas por la **capacidad organizativa adaptativa** (gobernanza del dato, procesos de decisión, flexibilidad y mejora continua) y por la **centralidad humana digital** (competencias, aceptación, confianza y liderazgo). En consecuencia, los impactos del modelo se presentan en dos bloques complementarios:

- **Impactos habilitantes:** capacidades que permiten sostener la transformación.
- **Impactos de desempeño y sostenibilidad:** efectos sobre resiliencia, eficiencia y creación de valor sistémico.

El primer bloque se refiere a las condiciones que permiten que la **capacidad tecnológica inteligente** (integración IloT–IA) se traduzca en decisiones y cambios sostenidos. Desde el punto de vista organizativo, exige gobernanza del dato y capacidad de reconfigurar procesos y recursos cuando cambia el entorno operativo. Desde el punto de vista humano, requiere competencias digitales, aceptación y liderazgo para asegurar una adopción efectiva y estable. En términos ODS, este bloque conecta con metas e indicadores vinculados al desarrollo de capital humano, la calidad y seguridad del trabajo y la institucionalización de prácticas sostenibles mediante mecanismos de seguimiento y reporte.

El segundo bloque se expresa en el desempeño del sistema productivo y en su contribución a la sostenibilidad. La resiliencia operativa se entiende como la capacidad de anticipar, absorber y recuperarse de perturbaciones manteniendo continuidad y estabilidad, mediante adaptación y reconfiguración. En el modelo, el IloT contribuye reduciendo incertidumbre operativa a través de la conectividad y trazabilidad en tiempo real, mientras que la IA aporta inteligencia analítica para detectar patrones, anticipar desviaciones y apoyar decisiones preventivas. Esta resiliencia reduce pérdidas de eficiencia y desperdicio asociados a paradas no planificadas, reprocesos y variabilidad del proceso.

La sostenibilidad se conceptualiza como creación de valor sistémico coherente con el marco ODS. En la dimensión económica, se manifiesta en mayor viabilidad y competitividad a largo plazo mediante desempeño más estable y mejor uso de activos. En la dimensión ambiental, se expresa en reducción de intensidades de consumo material y energético gracias a la optimización informada por datos. En la dimensión social, se relaciona con una transformación responsable que refuerza la calidad del trabajo y la seguridad operativa. Este bloque conduce de forma directa a metas ODS formuladas en términos de intensidades (energía, emisiones), eficiencia de recursos, reducción de residuos y condiciones laborales.

#### **A1.Y Selección de metas e indicadores a partir de los impactos del modelo**

La selección de metas se deriva directamente de los dos bloques de impacto definidos en el apartado anterior, reconociendo que determinados indicadores del marco ODS están definidos a escala agregada y se emplean aquí como referencia interpretativa del tipo de avance asociado a cada meta, sin pretender una atribución cuantitativa directa a nivel de empresa.

En el bloque habilitante, apoyado en la **centralidad humana digital** y la **capacidad organizativa adaptativa**, se incorporan metas que reflejan la formación a lo largo de la vida, la seguridad en el trabajo y la institucionalización de prácticas sostenibles mediante el *reporting* corporativo. En el bloque de desempeño y sostenibilidad, impulsado por la **capacidad tecnológica inteligente**, se incluyen metas vinculadas a la eficiencia de recursos, la reducción de residuos y las intensidades de consumo (emisiones y energía) que capturan el control de impactos del proceso.

De forma complementaria, se incorpora la meta 8.2 como referencia del vínculo entre modernización tecnológica e innovación y productividad agregada. La Tabla A1.2 sintetiza la selección final y los indicadores oficiales asociados.

**Tabla A1.2. Metas e indicadores ODS seleccionados**

| <b>Bloque de impacto del modelo</b>   | <b>Meta ODS</b> | <b>Indicador oficial asociado</b>   |
|---|-----------------|---|
| <b>Desempeño y sostenibilidad:</b> Eficiencia y productividad ( <i>Nota 1</i> ) | <b>8.2</b>      | <b>8.2.1</b> Tasa de crecimiento anual del PIB real por persona empleada.   |
| <b>Desempeño y sostenibilidad:</b> <i>Upgrading</i> industrial (intensidades)   | <b>9.4</b>      | <b>9.4.1</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por unidad de valor añadido.  |
| <b>Desempeño y sostenibilidad:</b> Eficiencia de recursos (materiales)          | <b>12.2</b>     | <b>12.2.1</b> Huella material absoluta, per cápita y por PIB; <b>12.2.2</b> Consumo material interno, per cápita y por PIB. |

|   |             |   |
|---|-------------|---|
| <b>Desempeño y sostenibilidad:</b> Residuos / Circularidad        | <b>12.5</b> | <b>12.5.1</b> Tasa nacional de reciclado, toneladas de material reciclado.  |
| <b>Desempeño y sostenibilidad:</b> Eficiencia energética          | <b>7.3</b>  | <b>7.3.1</b> Intensidad energética medida en función de la energía primaria y el PIB.   |
| <b>Habilitante:</b> Capital humano (formación)                    | <b>4.3</b>  | <b>4.3.1</b> Tasa de participación de jóvenes y adultos en la educación y formación académica y no académica en los últimos 12 meses. |
| <b>Habilitante:</b> Calidad del empleo (organización del trabajo) | <b>8.5</b>  | <b>8.5.1</b> Ingresos medios por hora de empleadas y empleados.   |
| <b>Habilitante:</b> Seguridad y condiciones de trabajo            | <b>8.8</b>  | <b>8.8.1</b> Tasas de lesiones ocupacionales mortales y no mortales por cada 100.000 trabajadores.                                    |
| <b>Habilitante:</b> Institucionalización y <i>reporting</i>       | <b>12.6</b> | <b>12.6.1</b> Número de empresas que publican informes de sostenibilidad.   |

**Nota 1 (advertencia metodológica):** La meta 8.2 se utiliza principalmente como referencia del vínculo entre *upgrading* tecnológico e innovación y productividad agregada, sin postular una atribución directa ni una traslación métrica al nivel micro-empresarial.

#### **A1.Z ODS cubiertos y contribución del modelo a través de metas e indicadores**

La Tabla A1.2 permite identificar de forma directa los ODS a los que el modelo se alinea. En primer lugar, el modelo se vincula con el **ODS 4 (Educación de calidad)** a través de la meta 4.3, dado que la adopción efectiva de IA e IIoT requiere competencias digitales y aprendizaje continuo para sostener rutinas basadas en datos. Esta conexión fundamenta la dimensión humana del modelo, reconociendo el capital humano como condición indispensable para la transformación.

En segundo lugar, el modelo se alinea con el **ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico)** mediante tres metas complementarias. Desde la perspectiva del desempeño, la meta 8.2 sirve de marco conceptual para entender cómo la resiliencia predictiva y la reducción de variabilidad se alinean con los objetivos globales de modernización tecnológica. En la dimensión habilitante, la meta 8.5 refleja el impacto social en la organización del trabajo, donde los roles evolucionan hacia tareas de mayor valor cualitativo y supervisión analítica. Por su parte, la meta 8.8 conecta con la seguridad operativa: la capacidad preventiva de la tecnología inteligente se asocia a entornos laborales más seguros y a la gestión eficaz del riesgo ocupacional.

En tercer lugar, el modelo se vincula con el **ODS 12 (Producción y consumo responsables)** a través de tres metas. La meta 12.2 capta la mejora en la eficiencia de los recursos, impulsada por una resiliencia predictiva que reduce el desperdicio. La meta 12.5 aborda el avance hacia la circularidad mediante la trazabilidad integral de los procesos. Por último, la meta 12.6 refleja la institucionalización del reporte sostenible, directamente asociada a la gobernanza del dato que promueve el modelo.

En cuarto lugar, se establece un alineamiento con el **ODS 7 (Energía asequible y no contaminante)** a través de la meta 7.3. La eficiencia energética se potencia al dotar a la organización de la capacidad para medir, analizar y reconfigurar de forma autónoma los consumos y las variabilidades del proceso.

Por último, el modelo contribuye al **ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura)** mediante la meta 9.4, que promueve la reconversión industrial sostenible. La estabilidad del proceso y la reducción de pérdidas logradas a través de la inteligencia operativa se traducen en la mejora de indicadores de intensidad como las emisiones de CO<sub>2</sub> por valor añadido.

En conjunto, el análisis detallado de metas e indicadores demuestra que el modelo se alinea con los ODS de forma totalmente consecuente con su diseño: la transformación impulsada por la **capacidad tecnológica inteligente** no es un fin técnico, sino un proceso de integración gobernado por la **capacidad organizativa adaptativa** y la **centralidad humana digital**, cuyo propósito último es fortalecer la resiliencia operativa y generar valor sistémico a largo plazo, contribuyendo a un impacto positivo y equilibrado en las dimensiones económica, ambiental y social de la empresa industrial.