

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Análisis comparativo sobre destacados modelos de madurez
para la transición hacia la Industria 4.0

Autor: Antuan Amigorena Cárdenaz

Tutor: Ms.C. Ing. Lissette Concepción Maure

Curso 2022

Santa Clara **diciembre 2022**
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Industrial Engineering Department

TRABAJO DE DIPLOMA

Title: Comparative analysis of leading maturity models for the transition to Industry 4.0

Author: Antuan Amigorena Cárdenaz

Tutor: M. Sc. Ing. Lissette Concepción Maure

Curso 2022

Santa Clara December 2022

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-141



ACTA DE CONFORMIDAD PARA ESTUDIANTES DE PREGRADO

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Por una parte, Anjuan Amigonera Cárdenas
estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial

en la facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

ESTUDIANTE Con número de identidad permanente: 98091410543 en lo adelante EL
Y por otra parte

Rene Abreu León Jefe del Departamento Docente de
Departamento de Ingeniería Industrial

en la ya mencionada facultad, en lo adelante EL JEFE DE DEPARTAMENTO y

Lisette Concepción Nogue profesor(es) encargado(s)
de tutelar el Trabajo de Diploma DEL ESTUDIANTE, en lo adelante EL TUTOR.

- Reconocen que:
- I. A EL ESTUDIANTE se le ha aprobado como tema de investigación para su Trabajo de Diploma el titulado Análisis comparativo sobre destacados modelos de madurez para la transición hacia la industria 4.0
 - II. EL ESTUDIANTE no divulgará información concerniente a la investigación, tanto durante el desarrollo como tras la culminación de esta sin la debida autorización DEL TUTOR o EL JEFE DE DEPARTAMENTO
 - III. Que el Trabajo de Diploma fruto de la labor investigativa de EL ESTUDIANTE y la asesoría de EL TUTOR, resulta de TITULARIDAD EXCLUSIVA de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas
 - IV. EL ESTUDIANTE una vez aprobada su tesis para la defensa, depositará una copia electrónica de la misma en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
 - V. A partir de la defensa y aprobación del Trabajo de Diploma, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier obra que se derive de esta investigación por parte de EL ESTUDIANTE, contará con la coautoría de EL TUTOR y viceversa, resultando de referencia obligada esta obra en cualquier otra que se elabore. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio. Todo lo anterior de acuerdo a la normativa de Derecho de Autor vigente en Cuba.

Y para que así conste se firma la presente en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, a los 6 días del mes de diciembre del año 2022.

Anjuan
EL ESTUDIANTE

Rene Abreu León
JEFE DE DEPARTAMENTO

Lisette
TUTOR

TUTOR

"La enseñanza debe ser tal que pueda recibirse como el mejor regalo y no como una amarga obligación."

Albert Einstein

DEDICATORIA

A mi ahijado y a mi abuelo

AGRADECIMIENTOS

- A mis abuelos, por su cariño sincero.
- A mis padres y hermano, por hostigarme.
- A mi tutora Lissette, por creer en mí aun cuando yo mismo no lo hacía.
- A mi tía, por siempre estar para mí cuando la necesito.
- A Massiel, mi editora
- A Jose, por brindarme el transporte.
- A Nataly, por ser ella.
- A mi primo, Cristian por entenderme.
- A los profesores por contribuir en mi formación
- A mi maestra Norma por enseñarme a escribir
- A mi maestra Yunmila por su paciencia y dedicación
- A Javier por enseñarme la utilidad de las matemáticas
- A los que me apoyaron
- A los que me desalentaron

A todos muchas Gracias

RESUMEN

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar los modelos de madurez en la transformación digital y sus campos de acción en un entorno de Industria 4.0. Para cumplir con este propósito, se desarrolla un estudio de tipo exploratorio con enfoque cualitativo, que permite fundamentar el estudio por medio de la revisión sistémica que sostienen los datos expuestos. Los modelos de madurez se dividieron para su análisis como modelos de madurez reconocidos y aplicados internacionalmente y modelos de madurez proporcionados por artículos científicos. Entre ellos: El Modelo de Madurez de Capacidades (CMM), Cociente Digital de McKinsey, Mapa de Madurez del Massachusetts Institute of Technology, Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital (HADA), Industry 4.0 Readiness (Impuls), Índice de aceleración digital (DAI), Modelo de arquitectura de referencia para la Industria 4.0 (RAMI 4.0). Los modelos de madurez se diferencian principalmente por las dimensiones y niveles inherentes a cada propuesta. Su aplicación se rige por el estado actual de la organización y el alcance que se pretenda dar al proceso de transformación. En el escenario de transformación digital, urge cambiar las maneras de pensar y rediseñar los procesos de manera tal, que la empresa sea un actor activo en ese entorno digital y, con ello, lograr mayores avances en la transición a la Industria 4.0.

ABSTRACT

ABSTRACT

The aim of this research is to analyze the maturity models in digital transformation and their fields of action in an Industry 4.0 environment. To fulfill this purpose, an exploratory study with a qualitative approach is developed, which allows to base the study through the systemic review that supports the exposed data. The maturity models were divided for analysis as internationally recognized and applied maturity models and maturity models provided by scientific articles. Among them: The Capability Maturity Model (CMM), McKinsey Digital Quotient, Massachusetts Institute of Technology Maturity Map, Advanced Self-Diagnostic Tool for Digital Maturity Assessment (HADA), Industry 4.0 Readiness (Impuls), Index Digital Acceleration System (DAI), Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0). The maturity models are differentiated mainly by the dimensions and levels inherent to each proposal. Its application is governed by the current state of the organization and the scope that is intended to be given to the transformation process. In the digital transformation scenario, it is urgent to change ways of thinking and redesign processes in such a way that the company is an active player in this digital environment and, with it, achieve greater progress in the transition to Industry 4.0.

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Las revoluciones industriales	6
1.2. Conceptualización de la I4.0. Principios, componentes y áreas prioritarias de acción	7
1.2.1. Tecnologías prominentes y habilitadoras digitales de la I4.0	9
1.3. La evolución del modelo productivo en la cuarta revolución industrial.....	13
1.4. Retos más relevantes para la transformación digital	18
1.5. Madurez digital y estrategia empresarial	19
1.6. El avance hacia la I4.0 a nivel internacional y nacional	22
1.7 Conclusiones Parciales	28
CAPÍTULO II: ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE MADUREZ PARA LA TRANSICIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0.	29
2.1. Métodos, técnicas y procedimiento de estudio	29
2.2. Análisis de modelos de madurez reconocidos internacionalmente	31
2.2.1. Modelo de Madurez de Capacidades (CMM).....	31
2.2.2. El Cociente Digital de McKinsey	32
2.2.3. Mapa de madurez del Massachusetts Institute of Technology	34
2.2.4. Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital (HADA).....	36
2.2.5. Industry 4.0 Readiness (Impuls)	39
2.2.6. Índice de aceleración digital (DAI).....	40
2.2.7. Modelo de arquitectura de referencia para la industria 4.0 (RAMI 4.0).....	42
2.3. Análisis comparativos de modelos de madurez proporcionados en artículos científicos.....	44
2.4. Aprendizajes para la realización de la transformación digital.....	52
CONCLUSIONES.....	543
RECOMENDACIONES.....	564
BIBLIOGRAFÍA.....	555

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La creciente integración de la tecnología en la cadena de valor industrial ha construido la fundación de la próxima revolución Industrial, denominada Industria 4.0 (I4.0). Esta promete aumentar considerablemente la efectividad operacional, así como el desarrollo de nuevos modelos de negocios, servicios y productos (Drath y Horch, 2014). En el ámbito de la producción, los avances de la ciencia y la tecnología apoyan continuamente el desarrollo de la industrialización en todo el mundo (Belvedere et al., 2013). La convergencia de las tecnologías permitirá que en el futuro la producción industrial se caracterice por una manufactura altamente flexible. Esto facilitará una fuerte individualización de los productos cuya optimización en los procesos le agreguen valor, además de una gran integración entre clientes y socios de negocios.

La I4.0 promueve el desarrollo de un sistema holístico de tecnologías de la información, personas, máquinas y herramientas, debido a la convergencia del mundo físico y virtual (cibespacio) en forma de sistemas ciberfísicos (CPS) (Sugimori et al., 1977, Bhamu y Singh Sangwan, 2014, Blöchl y Schneider, 2016). Permite el flujo de bienes, servicios y datos de manera controlada, a través de la cadena de valor, con operaciones de alto grado de autonomía y capacidad para transmitir información. Por su parte, los habilitadores digitales constituyen el conjunto de tecnologías que hacen posible una nueva industria y explotan el potencial del Internet de las Cosas, permitiendo la hibridación entre el mundo físico y el digital (Hermann et al., 2016).

Los avances tecnológicos han sido un parteaguas en la historia del desarrollo humano, debido a que han marcado un antes y un después en la forma de vivir de las personas a través del tiempo, por ejemplo la primera revolución industrial aceleró la movilidad humana por medio de la invención del motor a vapor, la segunda revolución industrial cambió la manera de manufacturar productos a través de innovadores modelos de productivos y la tercera revolución industrial logró uno de los mayores cambios sociales y económicos en la historia humana, debido a que transformó la manera de socializar, aprender y relacionarse a través de las computadoras y la automatización. La cuarta revolución industrial, promueve la fusión de la producción y las nuevas tecnologías digitales para el desarrollo de nuevos ecosistemas. La gran diferencia entre la cuarta revolución industrial y las que le precedieron es la rapidez con que se producen los cambios en la actualidad (Tran, 2014).

Según los autores (Kupper et al., 2017) este fenómeno será el impulsor de innovación más poderoso en las próximas décadas. Por lo tanto, las principales características relacionadas con la I4.0 como: interoperabilidad, virtualización, descentralización, modularidad, gestión en tiempo real, orientación al servicio e integración de los sistemas de producción a través de los sistemas de información, se consideran la respuesta a los desafíos actuales en términos de globalización e intensificación de la competitividad y volatilidad de las demandas del mercado (Sugimori et al., 1977, Camacho Miñano et al., 2013, Buer et al., 2018).

La disrupción digital trae consigo las amenazas y oportunidades más importantes a las que se han enfrentado las empresas en las últimas décadas, caracterizado no solamente por la incorporación de las tecnologías digitales, sino también por todo tipo de innovaciones. Para aprovechar las oportunidades y minimizar las amenazas será necesaria una auténtica revolución en las habilidades personales y organizacionales, así como una transformación de las organizaciones (Nanterme, 2016).

Según Schwartz (2001), las empresas más adaptables, que sean capaces de responder a las nuevas tendencias tecnológicas, sobrevivirán y aquellas que no sean capaces de adaptarse a la nueva economía digital probablemente caerán víctimas del “darwinismo digital”. Como la asimilación de las nuevas tecnologías digitales es fundamental para mantener la competitividad de las organizaciones y su desarrollo futuro, es de gran importancia estudiar el potencial de las capacidades organizacionales de transformación digital para asimilar y poner en valor dichas tecnologías.

Las organizaciones han generado como tópico fundamental la constante reinención, dentro de ello se considera una optimización de la operatividad y cambios de cultura. Es por esto que las compañías tratan de absorber la tecnología como un catalizador para avanzar hacia la transformación digital; sin claridad sobre cuál es la secuencia de cambios a seguir y el nivel de relevancia (Gimpel et al., 2018).

Existen gran cantidad de ejemplos de organizaciones que fallaron en el avance tecnológico por centrar sus esfuerzos en las tecnologías sin invertir en capacidades organizacionales que garantizaran su impacto (Kane et al., 2015). Según indica Morgan (2019), cerca de un 70% de las iniciativas de transformación digital fracasan. Los ejecutivos de las empresas saben que implementar las tecnologías y crear procesos y soluciones digitales es complicado.

Para el nivel gerencial es difícil establecer e implementar agendas digitales porque no se tiene la seguridad sobre la operatividad, los tópicos específicos y la configuración que debe aplicarse. Invertir en tecnología no es lo mismo que hacerlo en transformación digital, la mayoría de las instituciones se encuentran en la etapa de colocar dinero para la compra de nuevas herramientas, servicios y plataformas, lo que finalmente no significa que las organizaciones cambien la manera de competir en una economía digital a través de la transformación (González Varona, 2021).

Las empresas necesitan establecer prácticas de gestión para dirigir estas transformaciones complejas. Como indica Berman (2012), será necesario desarrollar un nuevo portafolio de capacidades de transformación digital que permita a las organizaciones la flexibilidad y capacidad de respuesta ante los rápidos cambios requeridos para generar nuevas propuestas de valor para los clientes y transformar los modelos operativos.

La madurez en el ámbito tecnológico se refiere a un elemento indispensable de la digitalización. No obstante, las piezas clave están integradas por la estructura organizacional y la visión cultural empresarial. Motivo por el cual, la acción de transformación digital está ligada a dos requisitos: la implicación de directivos y ejecutivos, y un fuerte enfoque del proceso en todos los miembros de la organización para el nuevo estado digital (Álvarez, 2019).

En un contexto internacional, donde la mayoría de los países adoptan estrategias para la modernización y establecen nuevos estándares para asegurar lo que han llamado la Internet Industrial, el mayor reto de las naciones subdesarrolladas, donde la industria es de bajo valor agregado y tienen limitaciones para las inversiones, es insertarse en este mercado con sus claves competitivas y los nuevos requerimientos de la I4.0 (Lage Dávila, 2022).

El viceministro de Industrias de Cuba afirmó que en el país existe un marco legal que acompaña la política de desarrollo industrial y de automática y, por otra parte, la infraestructura de telecomunicaciones y el acceso a internet se han desplegado de manera importante, lo que nos abre posibilidades para avanzar en tales propósitos. Actualmente se identifican más de 30 instituciones y grupos científicos cubanos activos en estas tecnologías, así como un conjunto de desarrollos que, desde la academia, el sector empresarial y formas de gestión no estatal, avanzan en cuestiones asociadas a la robótica, automática, vehículos no tripulados, impresoras en 3D, equipos médicos, soluciones de inteligencia (Cedeño Rodríguez, 2022).

Sin embargo, aun cuando se reconoce la necesidad del cambio y hay una voluntad política, ello no resulta suficiente. Urge avanzar, en paralelo, en los temas de preparación y competencias profesionales, buscar fuentes de financiamiento y rediseñar los procesos. Evaluar cómo diseñar este concepto en cada una de las empresas, en dependencia de las condiciones específicas y prioridades que se establezcan, es un proceso evolutivo, muy complejo y exigente, que requiere del concurso de todos. Resulta imprescindible realizar una adecuada preparación de los cuadros y funcionarios para enfrentar este cambio de mentalidad, lograr las adecuadas sinergias entre los diferentes actores, desarrollar una cultura sobre el tema, y avanzar desde la innovación y la transformación tecnológica (Cedeño Rodríguez, 2022).

Tanto en el ámbito nacional como internacional es evidente que la transformación digital considera la inversión para desarrollar las capacidades digitales alineadas a la estrategia organizacional, cuya ejecución es el pilar para mantener a la empresa en la carrera por satisfacer a los clientes. Las compañías carecen de mecanismos para avanzar en este ámbito, siendo los modelos de madurez herramientas que asisten a las instituciones a diagnosticar el proceso de transformación hacia una I4.0. Constituyen referentes para que las organizaciones evolucionen de forma progresiva en el desarrollo de capacidades elementales para alcanzar el éxito en una era digital.

Existe un cumulo de modelos de madurez planteados en la literatura que intentan guiar el camino de las empresas hacia el tránsito a la I4.0. Pero se carece de un análisis exhaustivo y crítico de los mismos donde queden detalladas las dimensiones, etapas y principales resultados esperados con su aplicación. El cual brinde los elementos necesarios a los tomadores de decisiones para su selección, así como un análisis del proceso de aprendizajes para la realización de la transformación digital de las empresas. Lo anterior constituye la **situación problemática** de la presente investigación.

Teniendo en cuenta todo lo planteado el **problema de investigación** a resolver es: ausencia de un estudio que delimite cuál es el estado actual de los modelos de madurez que tutelen el tránsito hacia a la I4.0 y las principales enseñanzas adquiridas de su aplicación.

En correspondencia con este se formuló como **objetivo general** de la investigación: analizar los modelos de madurez que tutelan el proceso de transformación digital requerido para la transición hacia la I4.0

Objetivos específicos:

1. Establecer las bases teóricas que permitan dar solución al problema de investigación planteado.
2. Establecer los principales elementos de los modelos estudiados con respecto a la transformación digital con base en la revisión sistémica.
3. Determinar las prácticas relevantes aplicadas para alcanzar la madurez digital.

La investigación que se proyecta posee un valor teórico. Este radica en la elaboración del marco teórico referencial, resultado de la consulta de la literatura nacional e internacional más actualizada referente a la I4.0, los modelos de madurez en la transformación digital. Así como la identificación de las dimensiones que serán sujeto del análisis comparativo, con ello determinar puntos de coincidencia que son dados como objeto del análisis y la posibilidad de aplicar estos hallazgos en el sector empresarial.

Para su presentación, este trabajo de diploma se estructura en dos capítulos. En el capítulo I se efectúa una revisión bibliográfica para la construcción del marco teórico referencial que sustenta la investigación. En el capítulo II, se identificará cuáles son los principales modelos de madurez para la I4.0, los beneficios que proporciona la aplicabilidad en las organizaciones, los niveles de madurez según las escalas diagnosticadas en la revisión sistémica, así como las prácticas relevantes que desarrollan las organizaciones para lograr el objetivo de madurez digital. Además, se incluyen las conclusiones, recomendaciones derivadas de la investigación y las referencias bibliográficas consultadas.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El análisis del marco teórico referencial permite profundizar y ordenar los aspectos investigados, así como conocer los diferentes criterios y valoraciones que tienen los autores acerca de la temática a tratar. Este análisis constituye una base sólida que fundamenta los métodos, procedimientos, técnicas y conceptos manejados en la investigación. En este sentido, se consultó bibliografía especializada y actualizada, tanto nacional como internacional. En el hilo conductor de la figura 1.1 se muestra la estrategia seguida para la construcción de este marco teórico referencial.

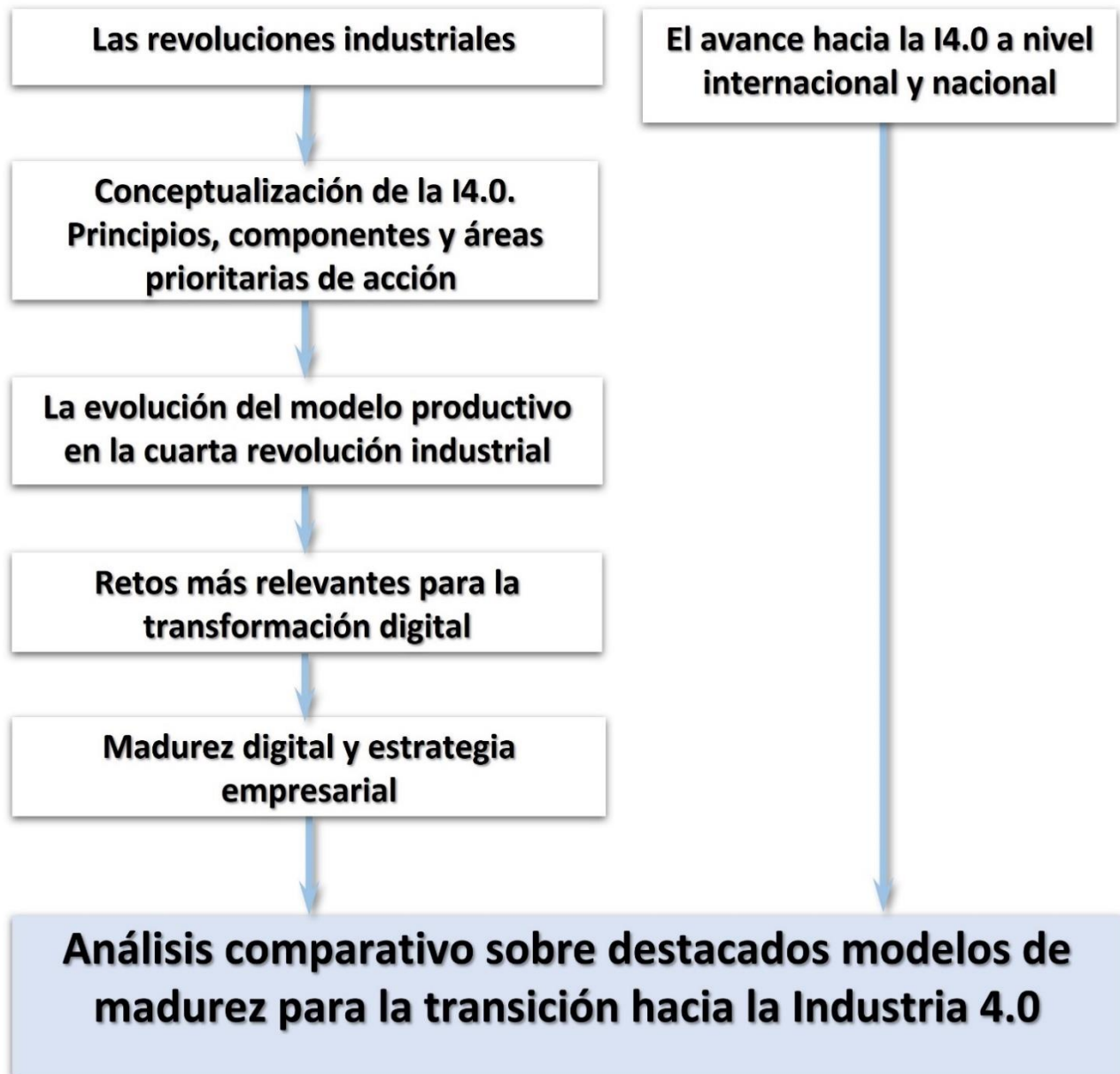


Figura 1.1. Hilo conductor de la investigación.

1.1. Las revoluciones industriales

A lo largo de la historia el hombre se ha visto obligado a implementar diferentes cambios tecnológicos que le han permitido su supervivencia y desarrollo. Sin embargo, no fue hasta la segunda mitad del siglo XVIII que dichos cambios significaron un salto cualitativo y cuantitativo a nivel industrial. Aunque no existe un acuerdo universal sobre lo que constituye una revolución industrial, desde una perspectiva de la evolución tecnológica, hay cuatro etapas comúnmente identificadas (Maynard, 2015). Las tres primeras revoluciones tomaron alrededor de dos siglos, mientras que la cuarta revolución industrial se produce con eminente premura (Tran, 2014).

La primera revolución industrial constituyó un proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en el Reino de Gran Bretaña, y se extendió unas décadas más tarde a gran parte de Europa occidental y América Anglosajona. El factor detonante de la misma fue la introducción de la máquina de vapor ideada por James Watt en las distintas industrias y el desarrollo de los sistemas de producción (Hurtado, 2019). Aunque la revolución industrial marcó la línea divisoria entre un mundo en crecimiento lento y un mundo en crecimiento sustancial y sostenido, los historiadores no la definieron con suficiente precisión. Según Hurtado (2019) su interés se centró en la distribución y en los males de la industrialización.

La segunda revolución industrial tuvo lugar entre 1870 y 1914, durante este período de tiempo el crecimiento en la industria se aceleró considerablemente gracias a la aparición de nuevas fuentes de energía como la electricidad. Entre sus principales aportes se encuentran:

- aplicación de tecnologías de producción en masa, división del trabajo,
- aparición de nuevas fuentes de energía: la electricidad y el petróleo (aplicados a la industria a través del motor eléctrico y del motor de combustión interna),
- aplicación masiva del vapor al transporte transoceánico,
- emergencia de los nuevos sectores líderes de la industria química y del acero, y la automoción.

La tercera revolución industrial marca un punto de inflexión en la industria gracias a la integración de la electrónica y sistemas de información gestionados por el hombre para automatizar los procesos de producción (Nexus Integra, 2022).

La creciente integración de la tecnología en la cadena de valor industrial ha construido la fundación de la próxima revolución Industrial, llamada Industria 4.0. Esta promete aumentar considerablemente la efectividad operacional, así como el desarrollo de nuevos modelos de negocios, servicios y productos (Drath y Horch, 2014). El concepto transformación digital se ha convertido en "*trending topic*" para empresas de todo el mundo. La utilización de las nuevas tecnologías digitales para cambiar las relaciones con los clientes, los procesos internos y las propuestas de valor es una realidad que muchos ejecutivos han convertido en su actividad cotidiana.

1.2. Conceptualización de la I4.0. Principios, componentes y áreas prioritarias de acción

El desarrollo de las tecnologías ha sido vertiginoso y los cambios tecnológicos afectan a todos los actores de la economía, desde los gobiernos hasta las pequeñas y medianas empresas, constituyendo su nivel de adaptación un factor a considerar para garantizar su supervivencia y desarrollo (Hess et al., 2016; Kane et al., 2015; Legner et al., 2017; Sebastian et al., 2017).

La transformación digital surge por la integración y explotación de las nuevas tecnologías digitales denominadas SMACiT: *Social* (Redes sociales), *Mobile* (Dispositivos móviles), *Analytics* (Análisis de datos), *Cloud computing* (Operaciones en la nube) e *Internet of Things* (Internet de las cosas). Esta transformación supone uno de los mayores retos a los que se enfrentan las organizaciones en la actualidad, ninguna es inmune a sus efectos y del éxito de su asimilación dependerá el desempeño futuro de las mismas (Hess et al., 2016; Kane et al., 2015; Legner et al., 2017).

La I4.0 ha sido definida por diferentes autores como: la integración de maquinaria y dispositivos complejos, con redes de software y sensores, utilizadas para predecir, controlar, mejorar el negocio y su impacto en la sociedad (Radziwon et al., 2014; Toro et al., 2015; Simonis et al., 2016; Moreno et al., 2017) sistema holístico de TI, personas, máquinas y herramientas, que permite el flujo de bienes, servicios y datos de una manera controlada, a través de la cadena de valor, con operaciones de un alto grado de autonomía y capacidad para transmitir información útil en la toma de decisiones (Dombrowski y Wagner, 2014; Mazak y Huemer, 2015; Wolter et al., 2015; Botthof 2015; Hermann et al., 2016; Qin et al., 2016) el nuevo nivel de organización y gestión de la cadena de valor a lo largo del ciclo de vida del producto (Trends, 2015; Prause y Weigand, 2016).

Medina Santiago y Martinez Cruz (2018) plantean un avance de “solo” internet y el modelo cliente-servidor a la movilidad en todas partes, el puente de los entornos digitales y físicos en la industria manufacturera, conocida como *Cyber Physical Systems* o sistemas ciberfísicos. La convergencia de las tecnologías de la información (TI), tecnología operativa (TO) y las tecnologías digitales (Internet de las cosas, *Big Data*, nube, etc.) con aceleradores adicionales como robótica avanzada e inteligencia artificial, permiten a la I4.0 la automatización, digitalización y optimización ampliando las oportunidades para innovar y llevar la industria al siguiente nivel.

Para la consecución efectiva de los objetivos trazados en la I4.0 es de vital importancia abordar desde el plano conceptual sus principios. Hermann et al (2016) a partir de un análisis bibliográfico identifican cuatro principios para implementar en cualquier empresa inteligente: interconexión, transparencia informática, decisiones descentralizadas y asistencia técnica. A continuación, se desglosan cada uno de los principios:

Interconexión: máquinas, dispositivos, sensores y personas están conectados a través de la internet de las cosas (IoT) y la internet de las personas (IoP), formando así la internet de todo (IoE

Internet of Everything). Las tecnologías de comunicación inalámbrica tienen una notable importancia dentro de la implementación de la IoE ya que permiten utilizar la internet en cualquier parte. Los objetos interconectados y las personas son capaces de intercambiar información oportuna que permite la consecución de objetivos comunes (Giusto et al,2010). Existen tres tipos de relaciones dentro de la IoE máquina-máquina, máquina-hombre y hombre-hombre (Shuch et al,2013). Dicha interconexión propicia que la cadena de suministro sea menos endeble y se adapte a un mercado cada vez más fluctuante (Sosa, 2020).

Decisiones descentralizadas: este principio resulta indispensable para la adaptación al mercado ya que permite que los propios componentes del CPS se conviertan en tomadores de decisiones. Lo cual permite realizar cambios necesarios basados en la información disponible sin la intervención humana salvo que existan conflictos de intereses o interferencias (ten Hompel y Otto, 2014) minimizando de esta forma el tiempo de reacción.

Asistencia técnica: dadas las rápidas decisiones descentralizadas tomadas por los CPS los seres humanos deben contar con un soporte de asistencia técnica física o virtual que le permita tomar de decisiones en poco tiempo (Gorecky et al., 2014). Los teléfonos inteligentes y tabletas se utilizan para conectar a las personas con la IoT (Miranda et al., 2015). Mientras que los robots son capaces de realizar tareas repetitivas, agotadoras, y/o peligrosas (Kiesler y Hinds, 2004, Awais y Henrich, 2013, Jaschke, 2014).

Transparencia informativa: la interconexión de los CPS y las personas junto a la fusión de los mundos (físico y virtual) han creado una nueva forma de transferir la información (Kagermann, 2015). Al vincular los datos obtenidos de un sensor con la empresa o taller digitalizados se crea una copia virtual del mundo físico (Lasi et al, 2014) obteniéndose información contextualizada de mayor valor para luego ser analizada y distribuidos por los canales de información pertinentes para que sean consultados por todos los actores (Gorecky et al., 2014). Es importante el flujo de información provenga tanto del exterior como del interior de la institución ((Bauernhansl, 2014).

Liao et al (2017) listan tres componentes y ocho áreas prioritarias de acción en la I4.0:

Componentes de la Industria 4.0:

- Digitalización e integración de las cadenas de valor (horizontal, vertical, de principio a fin).
- Digitalización del producto mediante la integración de sensores inteligentes, o del servicio, con *Big Data* para trabajar de acuerdo con la demanda.
- Modelos de negocios digitales que permiten, expandir la oferta de las empresas con servicios de datos o plataformas integradas.

Áreas prioritarias de acción de la Industria 4.0:

- Estandarización y arquitectura de referencia: desarrollo de un conjunto único de estándares comunes para apoyar la colaboración y una arquitectura de referencia para proveer una descripción técnica de estos estándares.
- Gestión de sistemas complejos: desarrollo de una planificación adecuada (para sistemas que se construirán) y modelos explicativos (para sistemas existentes) que proporcione una base para la gestión de productos complejos y sistemas de fabricación.
- Brindar una infraestructura de banda ancha integral: desarrollo de una red de comunicación confiable, integral y de alta calidad para expandir la infraestructura de internet de banda ancha en una escala masiva.
- Seguridad y protección: para garantizar que las instalaciones de producción y los productos en sí no representen un peligro para las personas ni para el medio ambiente. Mientras tanto, proteja los datos que contienen contra el mal uso y el acceso no autorizado.
- Organización y diseño del trabajo: implementación de un enfoque sociotécnico para ofrecer a los trabajadores mayores responsabilidad y mejorar su desarrollo personal.
- Capacitación y desarrollo profesional continuo: realización de estrategias de capacitación adecuadas y organización del trabajo de una manera que fomente el aprendizaje permanente basado en sus perfiles de competencia.
- Marco regulatorio: adaptación mutua de nuevas innovaciones con la legislación vigente. La protección de datos corporativos, problemas de responsabilidad, manejo de datos personales y restricciones comerciales.
- Productividad y eficiencia de los recursos: cálculo de las compensaciones entre los recursos adicionales que se necesitarán en las fábricas inteligentes y los ahorros potenciales generados.

1.2.1. Tecnologías prominentes y habilitadoras digitales de la I4.0

Los habilitadores digitales son tecnologías con la capacidad de brindar soporte a la transformación digital y llevarla desde el plano teórico hasta el material permitiendo que las empresas cambien sus procesos de negocios adaptándose así al fluctuante mercado. A continuación, se resumirán los principales habilitadores digitales (Sosa, 2020):

- Internet de las cosas: consiste en la conexión de distintos dispositivos o aparatos físicos a la red y entre sí, consiguiendo unificar el mundo físico con el digital. Engloba mucho más que las computadoras portátiles y los teléfonos inteligentes: casi cualquier cosa con un interruptor de encendido y apagado puede potencialmente conectarse a Internet, lo que la convierte en parte de la IoT, esto permite conectar todos los componentes de los CPS y así dotarlos de la capacidad de tomar decisiones rápidas y descentralizadas.

- Internet de las personas: el nuevo enfoque proporcionado por los impulsores de la transformación digital, la IoP permitirá a los actores humanos acceder a la información generada por los CPS y comunicarse entre sí enfocando su esfuerzo al cliente y sus necesidades generando servicios y productos personalizados.
- Internet de todo: es la conexión inteligente de personas, procesos, datos y cosas. El IoE describe un mundo en el que miles de millones de objetos disponen de sensores para detectar, medir y valorar el estado; todo ello conectado a través de redes públicas o privadas utilizando protocolos estándar y patentados.
 - Integración de sistemas (horizontal, vertical y de principio a fin): la visión de la integración de sistemas es crear un escenario colaborativo entre la ingeniería, producción, proveedores, marketing y operaciones de la cadena de suministros, teniendo en cuenta los niveles de automatización y flujo de información.
 - Integración horizontal: la integración de los diversos sistemas informáticos utilizados en las diferentes etapas de los procesos de fabricación y planificación de negocio dentro de una empresa (por ejemplo, la logística de entrada, producción, logística de salida, comercialización) y entre varias compañías diferentes (redes de valor).
 - Integración vertical: integración de los diversos sistemas de TI en los diferentes niveles jerárquicos (por ejemplo, actuador y nivel de sensor, la fabricación y el nivel de ejecución, el nivel de gestión de la producción y niveles de planificación corporativos).
 - Integración de principio a fin: la integración a lo largo del proceso de ingeniería para que los mundos digitales y reales se integren en toda la cadena de valor de un producto y a través de diferentes empresas, al tiempo que incorpora los requisitos del cliente.
 - Ciberseguridad: las industrias administradas con los datos en la red requieren un alto nivel de seguridad para las operaciones confidenciales. Para ello, el desarrollo de los aspectos legales que deben incluir el flujo de datos en la red, así como la administración de la privacidad. Los controles de ciberseguridad protegen los procesos y sistemas que operan en internet, reconoce los cambios y las vulnerabilidades y verifica que quién tiene acceso al sistema es un usuario autorizado. A medida que el número de participantes en la IoE crece, los intereses monetarios y políticos nivelarán el número de ataques a las instalaciones industriales, en consecuencia, aumentará la necesidad de la ciberseguridad.
 - Computación en la nube: busca una integración heterogénea de dispositivos y generación de datos para asegurar su disponibilidad y efectividad, también posee modelos de gestión que hacen que el sistema sea eficiente. Se emplean estrategias para vincular todos los departamentos, para que la información fluya en todos los procesos de manera simultánea y sin errores.

- **Sensores:** se define como sensor inteligente, aquel que cuenta con una tecnología que le faculta para generar respuestas ante la información que procesa, y que le dota de la capacidad para tomar decisiones y operar en consonancia con los parámetros con los que ha sido configurado, aumentando de esa forma la eficiencia de los sistemas productivos donde son implementados.
- **CPS y robótica:** involucra todos los elementos tecnológicos de la empresa aplicados en electrónica y robótica. El fin es determinar el alcance que tiene la compañía en materia de automatización en sus procesos, como administrar los robots en sus líneas de producción con la generación de datos que permitan ser procesados y que la operación sea más eficiente. Representando un contexto de la integración de tecnologías y los objetos físicos. El uso de CPS también abarca otras áreas importantes, tales como la administración en la presentación de informes de forma autónoma mientras se conectan a ERP.
- **Big data y analítica de datos:** evalúa todos los elementos relacionados al manejo de la información y su aprovechamiento para la transformación en conocimiento útil para la toma de decisiones, analiza a fondo la forma en la que se administra la información para mejorar los procesos. En el contexto de la I4.0, grandes volúmenes de datos se procesan utilizando herramientas analíticas avanzadas (regresión de polinomios, máquina de vector de soporte, red neuronal artificial, algoritmos de agrupamiento y método de grupo de pares no ponderados con media aritmética) para considerar factores no visibles y generar sistemas autoconscientes y autosostenibles.
- **Computación en la nube:** la computación en la nube ha transformado la forma en que muchas organizaciones gestionan sus actividades, lo que representa beneficios donde se incluyen: ahorro de costos, agilidad, eficiencia, consolidación de recursos y nuevas oportunidades de negocios. Esta nueva herramienta permite tomar la información de proveedores y clientes mediante un CRM y contrastarla con datos interno de los procesos, de esta forma se provee a la inteligencia artificial de información de valor agregado para que sea capaz de tomar una decisión certera.
- **Simulación:** se basa en la digitalización de cualquier proceso productivo mediante el seguimiento de varias variables claves que pueden ofrecer el resultado de la producción antes incluso de ejecutar la misma. Esa ventaja se puede magnificar con la ayuda de *big data* y una inteligencia artificial capaz de tomar decisiones en cuestión de segundos. Además, es la mejor forma para ahorrar tiempo y recursos.
- **Fabricación aditiva:** con la creación de prototipos y la impresión 3D, la fabricación aditiva muestra los conceptos incorporados en el diseño sin pérdida de material, lo que concluye en los ahorros. Además, permite centrarse en el consumidor para aumentar el nivel de personalización. Esto favorece que el nivel de flexibilidad de la empresa pueda ser evaluado antes de ejecutar la producción.

- Realidad virtual y aumentada: es un elemento importante de la industria inteligente para la ejecución de las operaciones, el avance de los riesgos de visión se reduce para varios procesos en la cadena de valor. Esta ha sido muy utilizada para mejorar los procedimientos de diseño y mantenimiento, mientras reduce los costos.

Así pues, la I4.0 es un nuevo sistema productivo con tecnologías disruptivas, lo cual traerá muchos cambios sociales, laborales y económicos, que marcarán un antes y un después en la historia de la humanidad. La I4.0 no es un fenómeno que apenas vaya a surgir, sino es un concepto que ya se está aplicando principalmente en las naciones más desarrolladas como Alemania, Japón, Corea del Sur entre otros, los cuales han tomado la ventaja competitiva en este mercado globalizado y que al igual que en la primera revolución industrial los que fueron pioneros de aquella época son las grandes potencias de hoy.

El grupo de trabajo oficial de I4.0 destaca tres características generales de la I4.0: i) integración horizontal a través de redes de valor, ii) integración digital de ingeniería de extremo a extremo en toda la cadena de valor, y iii) integración vertical y sistemas de fabricación en red (Kagermann et al., 2013). Su perspectiva de la I4.0 es, por lo tanto, un sistema de fabricación inteligente que está integrado con diferentes funciones y socios comerciales.

Digitalización del taller:

Un paso clave para permitir la digitalización de las operaciones de fabricación es crear sistemas de fabricación inteligentes: sistemas que tengan en cuenta el contexto y que ayuden a las personas y las máquinas a ejecutar actividades en el taller utilizando información del mundo físico y digital o virtual (Zheng et al., 2018). La digitalización del taller crea el enlace necesario para integrar los componentes y recursos físicos con el mundo digital del procesamiento de datos e información. El CPS, y más específicamente los sistemas de producción ciberfísicos, es el elemento clave de dicha digitalización, ya que realiza esta integración mediante el uso de sensores, actuadores, unidades de procesamiento de control y dispositivos de comunicación (Hofmann y Rüscher, 2017). Despliegue de sensores y actuadores, así como la recopilación de datos, puede describirse como las dos primeras capas de un sistema de fabricación inteligente y como los facilitadores del análisis de datos y la toma de decisiones basada en datos de un sistema de fabricación inteligente de la I4.0 (Zheng et al., 2018). Los sensores recopilan información del mundo físico para proporcionar estos datos como entrada a los sistemas de nivel superior que procesan esta información para el apoyo y la toma de decisiones en una fábrica inteligente. El mayor número de sensores utilizados en equipos y componentes en el taller permite la autodetección, la autoacción y la comunicación, creando esencialmente un IoT (Zheng et al., 2018). Con un taller digitalizado, los datos de la máquina y el sensor se recopilan a nivel de los objetos físicos a lo largo de todo el flujo de valor y a través de una capa de conectividad los datos recopilados se proporcionan para análisis.

A través de la integración de estas tecnologías, Los datos de producción en tiempo real se pueden recopilar y compartir para facilitar la toma de decisiones rápida y precisa a través de sistemas

inteligentes de soporte de decisiones (Ghobakhloo, 2018; Zheng et al., 2018). El acceso a información en tiempo real sobre el estado y los cambios específicos de componentes, personas, máquinas o procesos en el taller permite la planificación y el control continuo y en tiempo real de las operaciones de fabricación (Slack et al., 2010).

Tecnologías para la integración vertical y horizontal:

Las tecnologías emergentes ofrecen posibilidades mejoradas para un mayor grado de integración, tanto vertical como horizontalmente. Esto proporciona una gestión holística e integrada de la información y permite un sistema de fabricación flexible y reconfigurable (Brettel et al., 2014; Wang et al., 2016). La integración vertical, con la utilización ampliada de herramientas de planificación, software y TI y la digitalización de la fabricación, se ha establecido como un requisito para garantizar la competitividad continua de la industria manufacturera europea (Comisión Europea, 2004). Mientras que la integración horizontal de los diversos sistemas de TI utilizados en las diferentes etapas de los procesos de fabricación y planificación empresarial puede ser tanto internamente dentro de una empresa o entre diferentes socios en la cadena de valor (valor redes). Esta integración permite la reticulación inteligente y la digitalización interna de la empresa y de los módulos de creación de valor (Stock y Seliger, 2016). La integración horizontal a través de redes de valor facilitará la colaboración entre corporaciones donde el material fluye con facilidad entre estas corporaciones (Wang et al., 2017). La amplia integración da como resultado un mayor intercambio de información, lo que nuevamente facilita la toma de decisiones en la cadena de valor.

1.3. La evolución del modelo productivo en la cuarta revolución industrial

La evolución de los modelos productivos en la cuarta revolución industrial es inexorable. Hoy se tiene una oportunidad sin precedente de preparar los entornos productivos y/u organizativos para enfrentar la nueva transformación con un enfoque proactivo minimizando de esta manera males asociados.

En una transformación o reinvención, es preciso comprender que la estrategia trace el camino hacia una transformación digital real y que guíe a los mediante la integración a un ideal automatismo de tecnologías digitales. La definición de táctica de transformación implica la habilidad en digitalización comercial, un paso más allá, puesto que abarca a la organización, la gobernanza y políticas requeridas para dirigir la compañía hacia la transformación digital de forma orquestada. Los habilitadores tecnológicos deben utilizarse siguiendo una estrategia interempresarial e intraempresarial. Es decir, ningún departamento aislado puede decidir transformarse digitalmente sin que eso constituya una decisión de la empresa, así como la empresa no podrá avanzar en la I4.0 si sus eslabones inmediatos (proveedores y clientes tanto de primer como de segundo nivel) no lo hacen (Calatayud y Katz, 2019).

Autores como Anderson y Ellerby (2016) sostienen que, una destreza de transformación digital integral que abarque a la institución pretende ir más lejos que el enfoque funcional. Aborda de manera general los beneficios y los riesgos que se originan de la aplicación de tecnologías, de hecho, debería utilizarse para apoyar a las compañías en el camino de transformación y actuar como un concepto para coordinar, determinar prioridades e implementar los esfuerzos necesarios. Gill et al., (2018) resaltan la importancia de una maniobra coherente con la organización que a través de la tecnología se apalanque un cambio real, reflexionando que debería permitir a las organizaciones incorporar las ocasiones presentadas en el entorno digital, de una manera particular, difícil de replicar para los competidores. La Figura 1.2, muestra el posicionamiento de la estrategia de transformación digital en el contexto de las destrezas empresariales y funcionales.

Para lograr posicionar la estrategia alineada a la transformación digital, la organización debe iniciar por definir acciones de negocio respecto a la forma de competir en el mercado. Además de la determinación de medidas estratégicas funcionales para alcanzar la ventaja competitiva. Finalmente, identificar la manera de acoplar los beneficios del entorno a la economía digital.

Las empresas tienen que desarrollar su negocio desde un nuevo enfoque digital; para conseguirlo, no sólo basta la mera aplicación de la tecnología digital a sus operaciones, sino que deben cambiar la cultura empresarial y la forma de trabajar de los profesionales. Las transformaciones que se producen por los cambios tecnológicos no evolucionan al mismo ritmo que las de los de procesos y aún menos que los cambios culturales y organizativos necesarios.

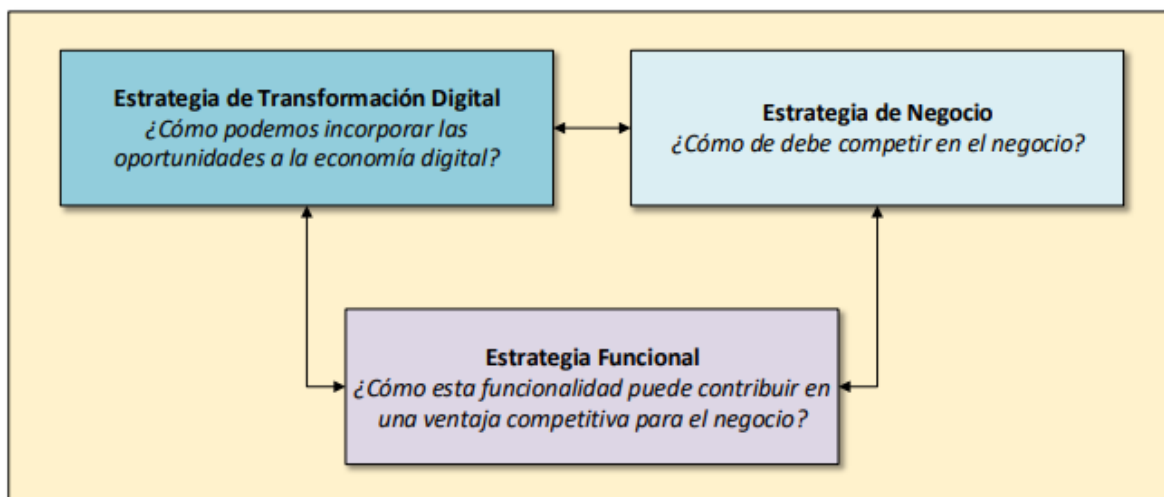


Figura 1.2. Posicionamiento de la táctica en la transformación.

La disrupción fundamental de las tecnologías digitales consiste en el cambio en los modelos de negocio: el paso de la cadena de valor al ecosistema, posicionando en el centro del sector a las empresas con modelos de plataforma y situando al dato como recurso clave. Este ecosistema formado por el conjunto con los componentes y habilitadores digitales de la I4.0 se muestra en la figura 1.3.

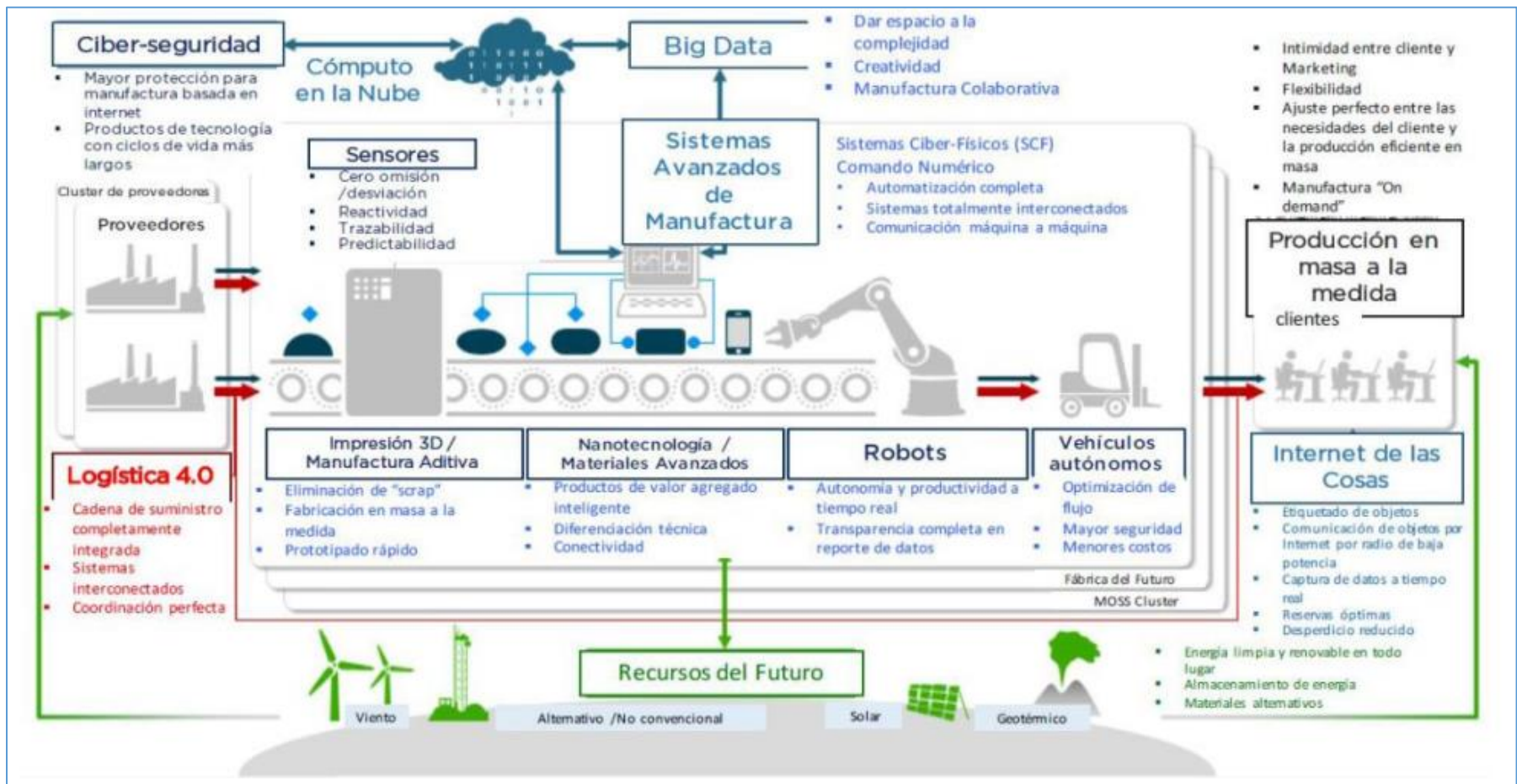


Figura 1.3. Ecosistema de la I4.0. Fuente: Medina Santiago y Martinez Cruz (2018)

Según (Fernández y Lama, 2018) algunos elementos relevantes y diferenciales para categorizar la evolución organizativa en la cuarta revolución industrial son:

- La necesidad de impulsar y gobernar cambios muy rápidos en los modelos productivos y de negocio (inmediatez y flexibilidad).
- La innovación, entendida de forma amplia, es un motor de diferenciación competitiva.
- La robotización de actividades repetitivas que, en muchos casos, hará que el capital humano de las organizaciones se componga casi exclusivamente por trabajadores del conocimiento.

El funcionamiento agregado de unas empresas y otras formando una red productiva y compleja de organizaciones que se yuxtaponen con interdependencias en múltiples niveles. Hay ciertas especificaciones para la adaptación de modelos de negocio al sistema de la cuarta revolución industrial, Lee et al. (2015) proponen una estructura denominada las cinco “C’s”, en ella se mencionan elementos acordes al nivel de cada C con los que debe cumplirse:

- I. Nivel de conexión inteligente: relaciona la información con la generación y el flujo de datos
 - Conexión y reproducción de datos
 - Vinculación de la información
 - Sensores de red
- II. Nivel de conversión de datos a información: análisis inteligente para generar respuestas por medio de la transformación de la información en los siguientes escenarios.
 - Componentes de estado de la máquina
 - Correlación de datos multidimensionales
 - Cumplimiento de predicciones
- III. Nivel cibernético: incluye elevada administración de la información y vinculación con elementos y equipo físico.
 - Modelo dual para componentes y máquinas
 - Tiempo de máquinas para identificación de variaciones y memoria
 - Agrupación de similitudes en minería de datos.
- IV. Nivel Cognitivo: grado de análisis de información que permite la toma de decisiones rápida y eficientemente.
 - Integración de simulación y síntesis
 - Visualización remota por el humano
 - Colaboración de diagnósticos y toma de decisiones
- V. Nivel de configuración: independencia en la administración de datos y gestión de actividades de manera autónoma.
 - Autoconfiguración resiliente
 - Autoajuste para variaciones
 - Auto optimización

La necesidad de gestionar cambios rápidos pone en cuestión los modelos organizativos jerárquicos, ya sean éstos orientados a procesos, a productos, a mercados o a organizaciones matriciales que resultan de la superposición de algunos de los anteriores. Estos modelos, orientados al control y la eficiencia resultan ineficaces a la hora de desarrollar e implantar cambios de forma rápida y suelen requerir el análisis y gestión de importantes cantidades de datos e información por diversos niveles que hacen que su implantación sea muy lenta o incluso acaban conduciendo al paradigma de «parálisis por el análisis». Hay numerosos estudios al respecto que valoran a los modelos jerárquicos como poco eficientes para hacer frente al entorno flexible y dinámico que caracteriza a las organizaciones en este nuevo entorno (Laloux, 2014).

Para impulsar la transformación digital de una empresa, se deben poner como objetivos prioritarios a los niveles directivos de la compañía la transformación digital de los procesos y la mejora en la experiencia del cliente. La transformación digital en una empresa solo puede tener éxito con la implicación de toda la organización en ese objetivo, que requiere especialmente de una estrecha colaboración entre todos los ejecutivos de la compañía.

Una vez introducido la importancia de la digitalización en la tabla 1.1. se definen los principales retos del sector industrial y como las soluciones digitales dan respuesta a esta amenaza.

Tabla 1.1. Principales retos de los sistemas productivos, solvencia en la I4.0.

Dimensiones	Retos	Industria 4.0
Procesos productivos	Flexibilidad y eficiencia en los medios productivos	Fabricación colaborativa. Descentralización toma de decisiones
	Reducción del tamaño de lote	Automatización. Reducción de tiempos de preparación
	Tiempo de respuestas bajos	Automatización. Comunicación pieza/máquina
	Anticipación demandada	Analítica avanzada. Sistemas de recopilación de datos del cliente
Productos	Personalización del producto	Aumento de funcionalidades. Implementación de dispositivos digitales
Modelos de negocios	Potenciación de la innovación	Innovación colaborativa entre empresas. Creación de investigación multidisciplinar
	Transformación de canales	Canales digitales disponibles a toda hora
	Hiperconectividad del cliente	Recopilación de datos del cliente
	Especialización/ competencia	Sistemas de gestión entre diferentes empresas
	Sostenibilidad a largo plazo	Optimización uso de los recursos y aumento de la eficiencia

1.4. Retos más relevantes para la transformación digital

Las revoluciones industriales siempre han traído consigo retos sociales políticos y tecnológicos, estos siempre afectan al eslabón más débil de la cadena y provocan un periodo de incertidumbre social donde los actores involucrados se adaptan al nuevo ambiente a partir de cambios reactivos, los actores incapaces de cambiar simplemente desaparecen (Fernández y de Lama, 2018).

Uno de los primeros problemas con los que se encuentran las empresas, a la hora de abordar su transformación digital, es la capacidad que tiene la dirección de la compañía para interpretar adecuadamente los cambios que deben realizar en su organización, que son necesarios para abordar este desafío. Al venir de un negocio tradicional, enfocado a un cliente con pautas de comportamiento clásicas, se encuentran desenfocados hacia cómo orientar su oferta a un cliente digital, con sus nuevas exigencias de calidad de servicio y precios, que obliga a ser más competitivos. Otro recurrente desafío es que siguen dedicando grandes esfuerzos al manejo de una información general, pero no lo suficientemente detallada, de las nuevas tendencias del mercado. La falta de conocimiento multilateral del problema les conduce a no tener suficientemente en cuenta la complejidad de los cambios a realizar y la velocidad con que deben acometerlos.

Schneider (2018) analizó las contribuciones realizadas hasta el momento en una revisión de la literatura al respecto, y obtuvo 18 desafíos gerenciales para la I4.0, como se aprecia en la Figura 1.4., donde se combinan en seis grupos interrelacionados. Para dar una mayor fiabilidad a los resultados alcanzados, realizó una encuesta a profesionales y académicos que le permitió calificar los resultados en función de su importancia.



Figura 1.4. Principales desafíos de la I4.0 **Fuente:** Schneider (2018)

1.5. Madurez digital y estrategia empresarial

El Oxford English Dictionary define el término madurez como un “estado completo, perfecto o listo” (Simpson y Weiner, 1989). Para Lahrmann et al. (2011) se puede describir la madurez como el grado de dominio y mejora de un proceso, y de forma general se relaciona con un estado completo o perfecto. Según Paulk et al. (1993), el término madurez se puede definir como la medida para evaluar las capacidades de una organización con respecto a una determinada disciplina. El estado de madurez que se desea se puede alcanzar a través de un progreso en el desarrollo de la transformación, desde una etapa inicial a una etapa más avanzada. Esto implica una evolución en la cual la organización puede pasar por etapas intermedias en progreso hacia la etapa final. Además, en la mayoría de las definiciones de madurez se asocia el elemento evolutivo con buenas prácticas. Ha de ser un proceso bien entendido, respaldado por documentación y capacitación, continuamente supervisado y mejorado por los usuarios (Fraser et al., 2002). Los métodos, prácticas y procedimientos desarrollados han de perdurar después de la implantación inicial.

Kane et al. (2017) definen madurez digital como la forma que tienen las organizaciones de prepararse permanentemente para responder de manera constante al cambio continuo generado por la transformación digital, así como los logros alcanzados por la organización en sus esfuerzos de transformación. Por tanto, el estado de transformación digital alcanzado en un momento determinado reflejará la madurez digital de la organización (Chaniyas y Hess, 2016). Esta definición de madurez digital parte de la definición psicológica de madurez, como la capacidad aprendida, a través del aprendizaje digital, para responder al entorno de manera adecuada.

Las organizaciones utilizan la transformación digital para mejorar su relación con el cliente, aunque aquellas que han alcanzado un mayor nivel de madurez digital están transformando su negocio para obtener ventajas competitivas dentro del mercado. La madurez digital es un concepto holístico que comprende tanto un aspecto tecnológico, como un aspecto de gestión. Aquellas organizaciones que incidan en el desarrollo de ambos aspectos alcanzarán un mayor nivel de madurez digital (Shahiduzzaman et al., 2017). Como indican Kane et al., (2015b), aquellas empresas focalizadas en la integración de las tecnologías digitales, en su conjunto, y en la transformación de sus negocios alcanzan mayores niveles de madurez digital que aquellas focalizadas en resolver problemas concretos con tecnologías digitales individuales.

El concepto de madurez digital es un fenómeno relativamente nuevo en el cual ninguna organización ha alcanzado en la actualidad el estado final; ni siquiera se ha definido de forma exacta la situación en la cual se encontraría una organización madura digitalmente. Por esta razón, es conveniente utilizar el término "madurando digitalmente" en lugar de "maduras" para describir las empresas más avanzadas en su proceso de transformación digital (Kane et al., 2015).

Aunque la componente tecnológica es básica para entender el concepto de madurez digital hay que tener en cuenta que la madurez digital va más allá de la adopción de nuevas tecnologías, puesto que requiere de una estrategia digital que permita alinear la estrategia, estructura, cultura, tecnología y empleados de la empresa, invirtiendo en capacidades organizacionales, para satisfacer los intereses de clientes, proveedores, socios y empleados. Si la organización no cambia su mentalidad, procesos y cultura puede ocurrir que no tenga el éxito esperado en sus esfuerzos de transformación digital (Kane et al., 2015).

Por tanto, podemos afirmar que la madurez digital está más relacionada con tener una estrategia digital clara que con una implementación mayor o menor de las nuevas tecnologías. Como indican Kane et al. (2017), la estrategia es el diferenciador más fuerte de las empresas que maduran digitalmente. La probabilidad de tener una estrategia digital clara, consistente y a largo plazo es cuatro veces mayor en las organizaciones que maduran digitalmente que en aquellas organizaciones en el estadio inicial de la transformación digital. Por tanto, uno de los mayores desafíos de las organizaciones, para avanzar en la madurez digital, será desarrollar una estrategia eficaz y enlazarla con los objetivos generales de la empresa. Desde el punto de vista de la gestión de las organizaciones, será necesario implementar unas prácticas para dirigir los cambios necesarios derivados de la asimilación de las nuevas tecnologías digitales. Para ello, toma una especial relevancia formular una estrategia de transformación digital que actúe como elemento integrador de la coordinación, priorización e implementación de los cambios en la organización (Matt et al., 2015).

No es suficiente con la implementación y utilización de una variedad de tecnologías digitales adecuadas, es necesario integrarlas en los empleados, procesos y rutinas de la organización para lograr una ventaja competitiva. Será necesario reconfigurar el negocio para poder aprovechar las ventajas que estas tecnologías proporcionan. La organización debe planificar y conocer qué datos son relevantes, cómo analizarlos e interpretar los resultados obtenidos; asimismo ha de saber cómo dar una respuesta adecuada. Todo ello de forma rápida y proporcionada.

Las organizaciones que maduran digitalmente presentan características comunes, tal y como se indica en la figura 1.5., más allá de la simple asimilación de tecnología. La madurez digital es fruto de la estrategia, la cultura y el liderazgo. Además, las organizaciones que están madurando proporcionan a sus empleados las habilidades digitales que precisan y tienen la capacidad de conceptualizar el efecto sobre la organización de la asimilación de las tecnologías digitales (Kane et al., 2015).

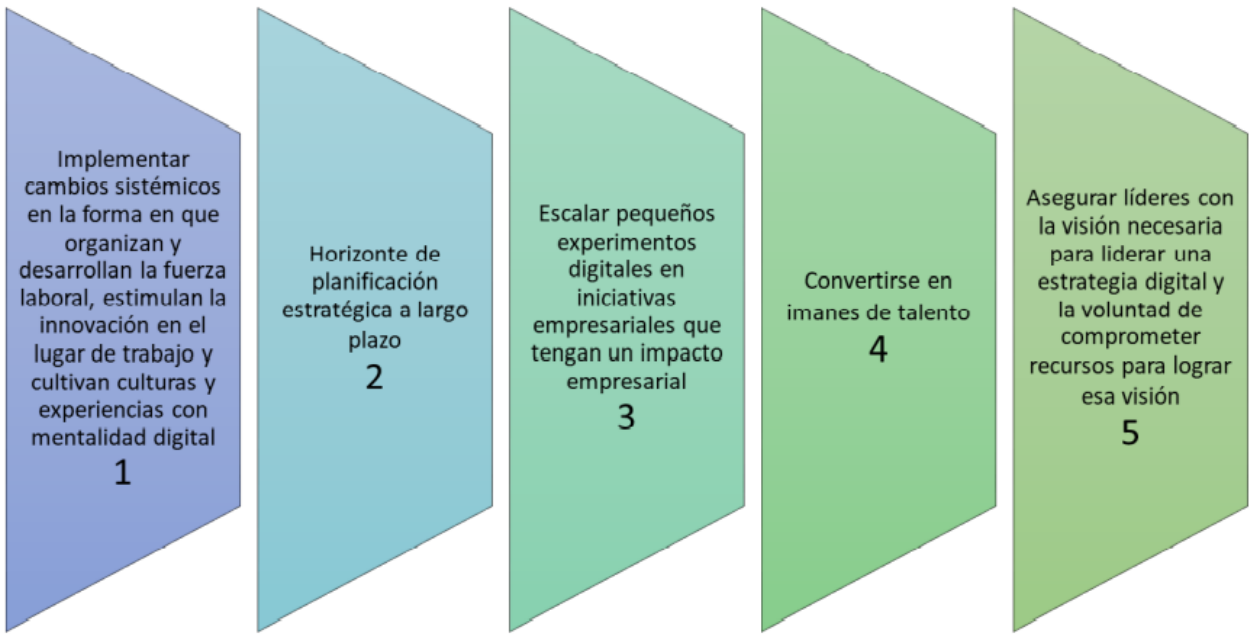


Figura 1.5. Prácticas clave de organizaciones que maduran digitalmente.

Fuente: González Varona, (2021)

Aunque todas las empresas tienen como objetivo común, entre los objetivos de su estrategia digital, mejorar la relación con los clientes, aquellas empresas que están madurando digitalmente se caracterizan por su interés en transformar su negocio de manera más amplia, utilizando las posibilidades que ofrecen las tecnologías digitales. Es necesario alinear la estrategia de transformación digital con el resto de las estrategias de la organización.

Esta alineación supone un desafío en la actualidad para la organización debido a las características intrínsecas de la transformación digital:

- Es difícil planificar una estrategia digital a medio y largo plazo debido al cambio constante del medioambiente empresarial al que se enfrentan las organizaciones.
- Al tener un carácter multifuncional, la alineación requerirá de una reorganización y desarrollo simultáneos de recursos de transformación digital y de negocio en diversos procesos de la organización.
- Falta de experiencia previa debido a la relativamente reciente aparición de la necesidad de las estrategias digitales. Existen pocos casos de alineación estratégica disponibles no solo a nivel digital, sino también desde una óptica organizacional.
- Congruencia digital: Kane et al. (2016) señalan la importancia de la alineación de la cultura, empleados, estructura y tareas entre sí, la estrategia digital y los desafíos derivados del cambio constante en las tecnologías digitales para afrontar la complejidad de los negocios digitales.

Por tanto, la alineación de estrategias se trata de un proceso continuo, condicionado por un medioambiente empresarial dominado por el cambio, emergente, multifuncional y que requiere de una coordinación de recursos de la organización.

La madurez digital no es un concepto estático, es un proceso continuo de adaptación a un medioambiente digital cambiante; por ello la organización tendrá que evaluar el nivel de madurez alcanzado a lo largo del tiempo (Shahiduzzaman et al., 2017). El avance en el proceso de madurez digital requiere de una mejora continua del rendimiento de las tecnologías digitales. Para conseguir la mejora continua, es preciso conocer cuál es la situación de la organización respecto a sus capacidades de transformación digital y la calidad de sus productos. La evaluación de la situación de una organización en un momento determinado puede ser complicado debido a que la organización ha de responder, para cada aspecto relevante de las tecnologías digitales, preguntas sobre qué debe medirse, cómo medirlo, con qué compararlo, entre otras (Becker et al., 2009). En consecuencia, las organizaciones necesitarán tener un mayor conocimiento de cómo afrontar la transformación, qué hace que tengan éxito y de qué forma se ocuparán de su transformación digital. En este sentido, los modelos de madurez pueden ser herramientas útiles para evaluar cuál es la situación actual de la organización, desarrollar y priorizar medidas de mejora y controlar el progreso de su implementación (De Bruin et al., 2005).

1.6. El avance hacia la I4.0 a nivel internacional y nacional

A nivel mundial el Foro Económico Mundial ha desarrollado un mecanismo con el fin de medir el nivel de digitalización de las empresas. Este sistema combina el diagnóstico de dos aspectos: la estructura productiva y la implementación de habilitadores. Con esta metodología ha publicado un informe en el que se identifican 25 países con el sector industrial más preparado para la digitalización industrial. Entre los primeros puestos se encuentran los países como Estados Unidos, Alemania y Japón. Los gobiernos involucrados han decidido poner en funcionamiento prácticas para brindar soporte a los eslabones que presenten dificultades para integrarse a la nueva filosofía:

- Desarrollo de estándares para la comunicación interorganizacional.
- Programas basados en la colaboración entre los sectores público y privado.
- Planes nacionales y estrategias con impacto en aspectos específicos de la cadena de suministro.
- Apoyo a la pequeña y mediana empresa.

Las iniciativas de política industrial 4.0 más relevantes por su grado de avance son la *Industrie 4.0* de Alemania y la Industrial *Internet of Things* de Estados Unidos. En un tercer lugar, aunque en un grado más incipiente de difusión, se encuentra China, con su programa *Made in China 2025*. El caso de Italia (Industria 4.0) también merece destacarse, por su focalización en las pymes y su capilaridad territorial.

Alemania cuenta con una posición de liderazgo en las industrias de maquinaria e ingeniería de plantas y como proveedor de equipamiento para las fábricas. Frente a la digitalización dominada por grandes plataformas con origen en Estados Unidos, el gobierno alemán comenzó tempranamente a crear iniciativas estratégicas y políticas para mantener su liderazgo en esas actividades manufactureras. Dichas iniciativas se institucionalizaron en una acción estructurante, la denominada “Plataforma Industria 4.0”, que se propuso coordinar distintas acciones en la consolidación del liderazgo alemán en la ingeniería mecánica, maquinaria e ingeniería de planta. Las acciones de política I4.0 se financiaron a partir de acuerdos público-privados e incluyeron el apoyo a la infraestructura de I+D. Dentro de esa infraestructura, se destaca el papel de la red de institutos tecnológicos Fraunhofer, que opera como soporte institucional para la promoción de redes y la cooperación entre socios industriales y la estandarización mediante el establecimiento de protocolos comunes de comunicación. Esto busca promover la adopción de las tecnologías 4.0 entre las pequeñas y medianas empresas metalmecánicas (Mittelstand), un segmento clave en la explicación de la fortaleza y competitividad sistémica alemana. Más allá del foco estratégico en ese segmento empresarial, los grandes grupos como ABB, Bosch, Telekom, FESTO, SAP, Siemens, Thyssen Krupp, Trumpf, Volkswagen y Wittenstein tuvieron una participación importante en los grupos de trabajo. La difusión de un estándar surgido de un consenso implica cambios en la arquitectura de las interfaces que involucra la organización productiva y la gestión de las empresas, con especial impacto en las organizaciones internas de las pymes y los modelos de negocios. La profundidad de los cambios en curso ha llevado a que, en diversos rubros, los grupos de trabajo posterguen las rivalidades entre empresas competidoras en las que la emergencia de plataformas globales puede poner en riesgo la fortaleza alemana de las pymes.

Estados Unidos a diferencia de Alemania, que concentra su ventaja competitiva en la manufactura, este cuenta con ventajas en la denominada “economía de plataformas”, cuya expansión se orienta a los sectores de servicios. La estrategia se basa en complementar su liderazgo en materia de plataformas digitales con el desarrollo de un entramado industrial fuertemente estructurado en el dominio de la computación en la nube, la inteligencia artificial y los grandes datos. La misma es promovida desde una iniciativa pública para la denominada “manufactura avanzada” en un esquema colaborativo con el sector privado (*Advanced Manufacturing Partnership*) y en el que se ha creado una red de institutos tecnológicos también a partir de asociaciones público-privadas: *Manufacturing Centers of Excellence*, *National Network for Manufacturing Innovation* y *Manufacturing Technology Testbeds*. El apoyo a ciertos “campeones nacionales” incluye a consorcios de las grandes empresas multinacionales de electrónica y telecomunicaciones y a aquellos que dominan la plataforma de nube.

Para proveer una nube unificada para usos de inteligencia y militares, la política industrial de Estados Unidos busca combinar las grandes misiones con la difusión de tecnologías IoT en la manufactura. Las actividades no se acotan al sector manufacturero, sino que incluyen actividades propias de los sectores de servicios y primario: energía, salud humana, agricultura, aviación, minería, transporte, ciudades inteligentes (*smart cities*).

China la adopción de la I40 debe comprenderse en el marco de una situación de liderazgo emergente en el campo de las plataformas digitales, con grandes jugadores globales, cierto rezago en materia de capacidades tecnológicas en la manufactura, y una estrategia nacional de *catching up* tecnológico basada en la adopción deliberada de tecnologías importadas. Se destacan dos planes del estado chino: *Made in China 2025* (MIC2025) y la *Internet Plus Strategy*. El MIC2025 es un plan estratégico orientado al ascenso tecnológico en las cadenas globales de valor y a convertirse en un país con capacidades manufactureras en industrias de media tecnología. En la segunda fase (2026 a 2035) dicha estrategia apunta a continuar el ascenso en sectores manufactureros de alta tecnología, para convertirse en el período 2036 - 2049 en uno de los países líderes en el diseño de nuevos productos, controlando la totalidad de las fases de sus cadenas de valor. Con una expansión global apalancada en su gran mercado interno, la estrategia Internet Plus busca desarrollar su propia red de telefonía móvil 5G dando un salto adelante en materia de infraestructura de telecomunicaciones, un factor que hoy se encuentra en el centro de la rivalidad global con los Estados Unidos. Los nacientes liderazgos en tecnologías de comunicación le permiten a China alcanzar las demandas de los sistemas manufactureros ciberfísicos, dado que uno de sus principales componentes como la IoT requiere no solo alta velocidad de transmisión de datos, sino también confiabilidad, cobertura geográfica y baja latencia que las redes 4G no logran cumplir.

Italia, es otro caso interesante, dada su focalización en las pymes y el territorio. Si bien no cuenta con el apoyo presupuestario de los casos estadounidense y alemán, su iniciativa la “Fabrica del Futuro”, que promueve actividades de vigilancia tecnológica y el desarrollo de determinados proyectos de investigación público-privados, en combinación con el programa “Cluster Tecnológico Nacional” y “Fabrica inteligente”, se orientó a la identificación de espacios de cooperación y especialización regional a partir de una predefinición de seis regiones, entre las que destacan: la producción especializada para la región de Módena, la producción modular para Bergamo y la robótica para Nápoles.

Luego de estas experiencias, el gobierno italiano lanzó en el año 2017 un plan nacional denominado Industria 4.0 que, manteniendo un abordaje de intervención basado en acciones horizontales y sustentado en instrumentos existentes, buscó la coordinación de los principales actores basado en una estrategia “desde abajo” (Italiana, 2017). El plan se enfocó en apoyar las

capacidades e I+D de las firmas, la formación de recursos humanos en I4.0 a partir de Institutos Técnicos Superiores y apuntaló el desarrollo de infraestructuras de redes de comunicación, así como la adopción de estándares de IoT (ya sean abiertos o cerrados) definidos por grandes empresas multinacionales. El plan tiene la virtud de avanzar capilarmente sobre el territorio, pero, quizás por cuestiones presupuestarias, el impulso a las capacidades de adopción de las nuevas tecnologías es aún incipiente y la forma de adopción de estándares y protocolos tiende a ser pasiva, lo que puede tener efectos negativos sobre el tejido industrial y en la disputa por la apropiación del excedente con grandes jugadores globales.

De la revisión de estos cuatro casos se infiere que una de las principales acciones de política I4.0 es la organización del esfuerzo de I+D alrededor de los desafíos que enfrenta la manufactura frente a las nuevas tecnologías digitales. Las oportunidades que brindan las nuevas tecnologías requieren la convergencia entre trayectorias tecnológicas previas basadas en modelos de aprendizaje proveedor usuario localizadas, con las nuevas tecnologías I4.0, e implican un nuevo tipo de articulación con la infraestructura de CyT. En todos los casos es posible identificar una estrategia colaborativa en I+D manufacturero, con los institutos manufactureros como nodos articuladores, representados en Alemania por los Institutos Fraunhofer y en Estados Unidos por la nueva red de institutos para la nueva manufactura (NNMI6). En Italia el apoyo a los institutos tecnológicos es más débil presupuestariamente, y se basó en un esquema de financiamiento por proyecto a partir de capital de riesgo y la promoción a las inversiones intangibles en I4.0 a través de desgravación impositiva.

Los institutos tecnológicos juegan un rol clave en la medida que gran parte de los sectores manufactureros están comprendidos por empresas pequeñas y medianas, cuyo tamaño limita la posibilidad de contar con departamentos de I+D propios e impide desarrollar capacidades de prototipado y escalado industrial. La propia experiencia de Alemania indica que no alcanza con el apoyo al desarrollo de los centros tecnológicos. Resulta necesario, además, reforzar los instrumentos de financiamiento y plantear un horizonte de protección selectiva si se pretende que las pymes adopten este tipo de tecnologías. Por ello, en todos los casos la adopción de estas tecnologías involucra instrumentos de promoción fiscal a las firmas manufactureras (y a la industria de capital de riesgo). El uso de créditos fiscales a la I+D o la amortización acelerada para la inversión de tecnologías (tangibles e intangibles) asociadas a la I4.0. Otro factor decisivo es el de formación de recursos humanos, técnica e ingenieril, para la adopción de las tecnologías 4.0, y el desarrollo de procesos y rutinas que sean incorporadas en los sistemas productivos. En el sistema de innovación alemán, por ejemplo, la formación involucra a las organizaciones empresarias, los sindicatos y las universidades en la definición de los planes de estudio.

Este conjunto de acciones (apoyo a los centros tecnológicos, incentivos fiscales, capacitación de recursos humanos) fue acompañado en los casos revisados con diversos grados de focalización sectorial y de gestión selectiva del mercado interno. El foco sectorial de las políticas obedece, explícita o implícitamente, al tipo de especialización que se busca preservar o potenciar. En el caso de Alemania, es claro que se busca reforzar la competitividad de la ingeniería mecánica, la electrónica y otras industrias proveedoras especializadas que enfrentan los desafíos de la digitalización. En los Estados Unidos y China existe mayor horizontalidad en el tipo de sectores promovidos: se apoya la transferencia de tecnología, no solo a las industrias metalmeccánicas y electrónicas, sino también a sectores usuarios como la agricultura y la energía, con especial énfasis en el control de las plataformas digitales. Es en este último aspecto que, a excepción de Italia, que opta por la adopción de estándares abiertos, en el resto de los casos analizados existe un abordaje estratégico de la estandarización.

Como se mencionó, el avance de la Internet Industrial de las Cosas requiere interoperabilidad entre distintas máquinas, y para ello deben compartir protocolos comunes de comunicación. Estos protocolos que posibilitan un lenguaje común en la interpretación de los datos requieren procesos de estandarización. Aún si los estándares son de carácter abierto, están sujetos a distintas interpretaciones en las que se priorizan determinadas funciones por sobre otras, que sumados a los efectos de las economías de red pueden llevar a que ciertas industrias logren controlar los paquetes tecnológicos de las nuevas tecnologías.

En tal sentido, si la adopción de las nuevas tecnologías a nivel intraorganizacional presenta desafíos en los que la promoción de las redes de institutos manufactureros, el apoyo a las pymes y el foco en la formación de la fuerza de trabajo exigen acciones de política a nivel nacional y subnacional, la estandarización requiere resolver tensiones intersectoriales que muchas veces se dirimen en el espacio global de competencia. Esto origina importantes tensiones entre el aseguramiento de la interoperabilidad y su impacto sobre la autonomía y el alcance de las capacidades de las firmas y de las infraestructuras de I+D locales. Un primer tipo de tensión surge cuando en un contexto de incertidumbre tecnológica, la selección temprana de un estándar puede desplazar prematuramente a un conjunto de opciones tecnológicas más adecuadas. De esta manera, el estándar difundido permite que las grandes firmas globales proveedoras de equipos obtengan una gran cantidad de datos útiles para su estrategia de fidelización comercial de sus clientes a partir de los servicios de postventa.

En el caso específico de Cuba se presentan dificultades de diversa índole para iniciar la transformación digital, incluso antes del surgimiento de la I4.0 no contaba con capital suficiente con para la modernización de sus instituciones. No obstante, los distintos autores y directivos en el país han empezado a abordar el tema desde una perspectiva crítica y proactiva. Gonzáles y

Rodríguez (2022) realizan una recolección de impresiones de personas naturales conocedoras del tema como el viceministro de industria Ernesto Cedeño Rodríguez, el cual puntualiza la necesidad de un cambio en el ámbito empresarial cubano para impulsar la transformación digital y aumentar la participación del país en el mercado internacional.

El diagnóstico presentado en la XVIII Convención y Feria Internacional Informática celebrada en 29 de marzo del 2022 detecta la pérdida por diversas causas de la fuerza de trabajo calificada y con experiencia; también se encontró que las organizaciones cubanas presentan obsolescencia tecnológica. Estos factores provocan un bajo nivel de productividad. En Cuba existe un marco legal que permite el desarrollo industrial y actualmente la infraestructura de telecomunicaciones y el acceso a internet se han desplegado de manera significativa, lo que aumenta las posibilidades de aplicar la I4.0. Actualmente existen más de 30 instituciones y grupos de científicos cubanos familiarizados con tecnología asociada con la cuarta revolución industrial, así como un conjunto de desarrollos que, desde la academia, el sector empresarial y formas de gestión no estatal, avanza en cuestiones asociadas a la robótica, automática, vehículos no tripulados, impresoras en 3D, equipos médicos, soluciones de inteligencia artificial aplicada a la medicina y la eficiencia energética, entre otros aspectos.

Sin embargo, aun cuando se reconoce la necesidad del cambio y hay una voluntad política, ello no resulta suficiente. Urge avanzar, en paralelo, en los temas de preparación y competencias profesionales, buscar fuentes de financiamiento y rediseñar los procesos (González y Rodríguez, 2022).

El Primer Secretario del Comité del Central del Partido y Presidente de la República de Cuba plantea que hacia el camino de la I4.0 también se proyecta la industria cubana, que teniendo en cuenta sus propias características y objetivas limitaciones que persisten trabaja para estimular el surgimiento de nuevas empresas de alta tecnología, a partir de la convergencia del sector empresarial y el académico. Plantea la importancia de garantizar desde el primer momento una industria moderna y a la vez segura; promover en las universidades el estudio de nuevas tecnologías, continuar potenciando los nexos entre la ciencia, la tecnología y la sociedad, tanto desde el punto de vista conceptual como organizativo.

1.7 Conclusiones Parciales

1. La I4.0 a través de la convergencia de habilitadores tecnológicos permitirá que en el futuro la producción industrial se caracterice por una manufactura altamente flexible, con una fuerte individualización de los productos cuya optimización en los procesos le agreguen valor, además de una gran integración entre clientes y socios de negocios; situación que dará como resultado una estrecha vinculación entre la producción de bienes y la generación de servicios de alta calidad.
2. La madurez digital no es un concepto estático, es un proceso continuo de adaptación a un medioambiente digital cambiante. Para conseguir la mejora continua, es preciso conocer cuál es la situación de la organización respecto a sus capacidades de transformación digital y la calidad de sus productos. Las herramientas de evaluación de la madurez digital tienen un papel fundamental en la preparación de las organizaciones para la transición hacia la I4.0.
3. En un contexto donde la mayoría de los países adoptan estrategias para la modernización y establecen nuevos estándares, el mayor reto de las naciones subdesarrolladas, donde la industria es de bajo valor agregado y tienen limitaciones para las inversiones, es insertarse en este mercado con sus claves competitivas y los nuevos requerimientos de la I4.0. Para ello es necesario utilizar modelos de madurez que permitan medir el grado de preparación de las organizaciones, cambiar las maneras de pensar y rediseñar los procesos de manera tal, que la industria nacional sea un actor activo en ese entorno digital y crear programas de implementación para la transición exitosa a la I4.0.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II: ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE MADUREZ PARA LA TRANSICIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0.

Como respuesta al problema de investigación planteado en la presente tesis y derivado de la construcción del marco teórico referencial, en este capítulo se propone un análisis sobre los modelos de madurez que evalúan el proceso de transformación digital requerido para la transición hacia la I4.0. Se desarrolla un estudio de tipo exploratorio con enfoque cualitativo, que permite fundamentar la investigación por medio de la revisión sistémica de la literatura.

2.1. Métodos, técnicas y procedimiento de estudio

Método: se emplea el método inductivo-deductivo mediante el análisis comparativo de destacados modelos empleados para la transformación digital en las organizaciones. Este método implica dos acciones: la inducción se refiere al razonamiento del conocimiento de casos particulares a un conocimiento general, situación que conlleva a determinar hechos comunes entre los fenómenos individuales. En contraste, la deducción describe como pasar del conocimiento general a otro de más específico, siendo estos los puntos de partida para identificar los hallazgos en casos particulares.

Técnica: se utiliza la técnica bibliográfica-documental, mediante la revisión sistémica. Las técnicas de investigación documental se refieren al mecanismo de búsqueda y selección de fuentes de información sobre el problema o la pregunta de investigación. Proporciona la base del estudio con material escrito, ayuda a comprender los hechos históricos, espaciales y temporales vinculados al tema de investigación.

Revisión sistémica: la presente investigación muestra de forma sistemática los resultados de una revisión bibliográfica con respecto a los modelos aplicados en organizaciones para la transformación digital en un entorno de I4.0. La búsqueda de la información se realizó en diferentes buscadores especializados para garantizar la veracidad de los datos. Para esto se siguieron los pasos que se muestran en la figura 2.1.

En primera instancia, se identifica el tema de estudio considerando los aspectos relevantes sobre la temática con base a las reflexiones obtenidas en otras investigaciones. Segundo, se plantea el estado de arte y marco teórico sobre la I4.0 y la adopción de modelos de madurez por las empresas, aspecto que establece el problema y los objetivos del estudio. Posteriormente, se realiza la extracción de información identificando enfoque, dimensiones y niveles de madurez. También se registra el tipo de estudio, el autor, fecha, modelo de madurez, principales resultados y conclusiones de las investigaciones.

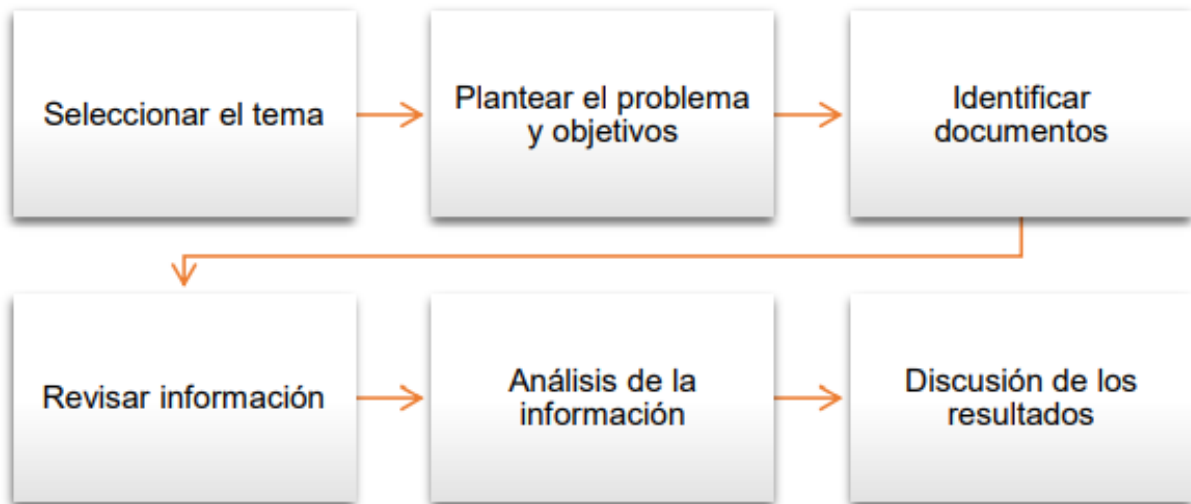


Figura 2.1. Procedimiento metodológico aplicado.

Criterios de inclusión

Con el propósito de obtener información útil para la estructuración de resultados teóricos sobre el tema se consideran los siguientes criterios de inclusión y exclusión de documentos:

- Las evidencias disponibles en los artículos son referencias menores o iguales a 10 años de publicación.
- Artículos que aborden modelos de transformación digital en un entorno de I4.0 e incluyan experiencias de aplicación empresarial.
- Valorar la pertinencia de los artículos y su idoneidad con documentos que contengan DOI/URL como identificación de su publicación en bases de datos indexadas.

Criterios de exclusión

- Libros, artículos, revistas que sobrepasen los 10 años de publicación.
- Documentos que no aborden modelos de transformación digital con las áreas de estudio.
- Referencias bibliográficas que no sean de fuentes válidas (bases de datos indexadas).

Entre los documentos revisados existen artículos científicos, documentos de conferencia, y publicaciones de entidades consultoras. Se revisó una síntesis de datos a través de la visualización y comparación de información, tomando como base para el filtro el nombre del autor, año y título de los artículos, con énfasis en el análisis del alcance de los artículos, la metodología, resultados y conclusiones, la cual requiere de habilidades interpretativas para asociar los hallazgos por categorías.

2.2. Análisis de modelos de madurez reconocidos internacionalmente

A continuación, se detallarán modelos de madurez propuestos como partes de programas de gobiernos o por empresas consultoras internacionalmente reconocidas para evaluar y guiar la transformación digital necesaria para la transición hacia la I4.0

2.2.1. Modelo de Madurez de Capacidades (CMM)

El Modelo de Madurez de Capacidades (CMM) desarrollado por el Instituto de Ingeniería del Software (SEI: Software Engineering Institute) de la Universidad de Carnegie-Mellon, Estados Unidos expone que en el amplio campo de la transformación digital se usan métodos enfocados en la funcionalidad prescriptiva. El motivo es que las rutas de evolución en digitalización no son lineales, porque no es claro, si una institución en el nivel elevado se desempeña mejor que la competencia. Las posibles rutas para seguir agrupan actividades, dependiendo en varias ocasiones del nivel de dificultad. Al respecto, es imperioso mencionar que el CMM constituyen una herramienta de buenas prácticas para que las organizaciones mejoren la operatividad interna con el propósito de alcanzar los niveles de madurez o capacidad óptimos permitiendo con esto incrementar la eficiencia de las acciones involucradas y la calidad de los bienes que oferta la organización.

La Figura 2.2. permite apreciar los rangos derivados de la ejecución del CMM, el cual revela cinco resultados, interpretados de la manera siguiente, aquellas organizaciones que reporten un nivel 1 significa que se encuentra en un rango inicial, en donde las operaciones no tienen el control pertinente, por tanto, requieren de la aplicación de acciones correctivas. En contraste, una calificación en el nivel 5 supone que la organización se encuentra en una categoría optimizada, gestionado de forma efectiva.

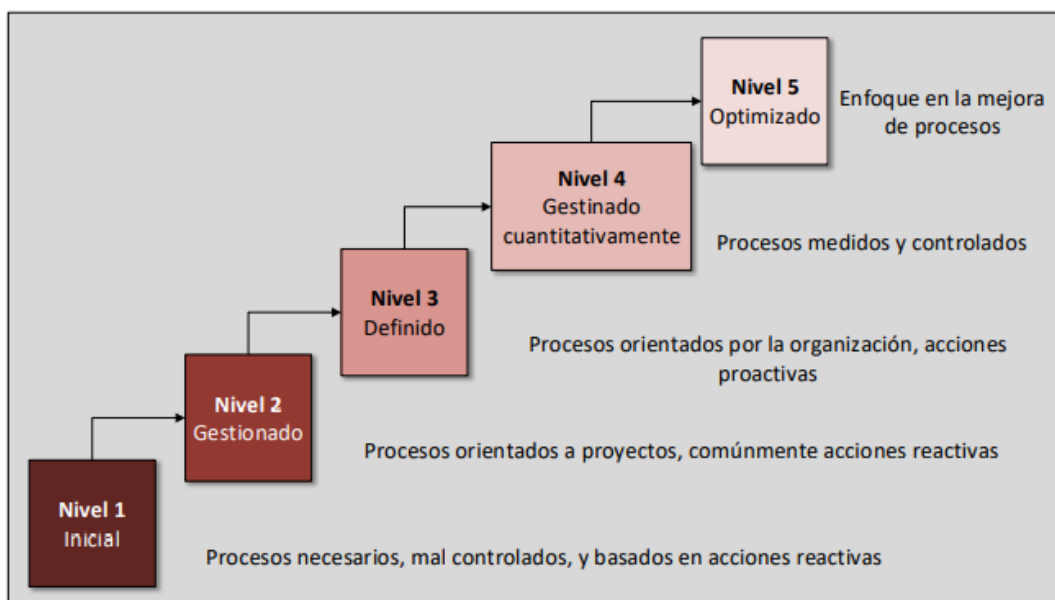


Figura 2.2. CMM. Fuente: Álvarez y Ramos (2015)

Inicial: el proceso no se controla de forma correcta, la gestión operacional es reactiva y no cuenta con las herramientas organizativas y tecnológicas requeridas para construir una infraestructura que permita usabilidad de las soluciones utilizadas.

Gestionada: la gestión de actividades es débil debido a carencias en la organización. Las decisiones se caracterizan por elecciones hacia objetivos específicos, o proyectos individuales, y la experiencia del planificador que demuestra una madurez parcial.

Definida: se define gracias a la planificación e implementación de buenas prácticas y procedimientos de gestión. La gestión del proceso se encuentra limitada por algunas responsabilidades organizativas o tecnológicas. Resaltan algunas brechas básicamente en integración e interoperabilidad de aplicaciones para el intercambio de información.

Integrada e interoperable: es construido sobre la integración e interoperabilidad de algunas aplicaciones, sobre el intercambio de información y por lo tanto está totalmente planeado e implementado. La integración e interoperabilidad se basan en estándares comunes y compartidos dentro de la organización, tomados desde las mejores prácticas de la industria.

Orientada digitalmente: tiene una orientación digital y se basa en una sólida infraestructura tecnológica, con una organización de alto potencial de crecimiento. Soporta un alto nivel de integración e interoperabilidad, velocidad y robustez, así como seguridad para el intercambio de información. Existe colaboración entre las funciones de la organización.

2.2.2. El Cociente Digital de McKinsey

Entre 2014 y 2015, McKinsey realizó un estudio a profundidad en 150 empresas a nivel global para comprender los retos de la digitalización en las organizaciones. Se evaluaron 18 prácticas relacionadas a la estrategia digital, las capacidades y la cultura. De este trabajo surgió una métrica simple para medir la madurez digital de una empresa que ha sido llamada el Cociente Digital (*Digital Quotient* o DQ). Este tiene en cuenta las siguientes dimensiones;

Estrategia digital: el punto de inicio en una transformación digital es la definición de la estrategia digital. Esta debe ser clara, precisa e integrada en la estrategia corporativa de la empresa. Esta alineación es clave para el éxito de la transformación digital. De acuerdo con los resultados del estudio, las empresas llegan a construir una estrategia digital correcta al responder las preguntas claves:

1. ¿Dónde estarán las oportunidades y amenazas más relevantes?
2. ¿Cuán rápido y a qué escala podría ocurrir una disrupción digital en mi sector?
3. ¿Cuáles son las mejores acciones para aprovechar las oportunidades proactivamente y cuáles para relocalizar recursos fuera de las grandes amenazas?

Capacidades: para alcanzar el éxito digital es crítico construir las bases fundamentales para otras capacidades claves asociadas a procesos y actividades. Del estudio realizado por McKinsey, surgieron como capacidades críticas la habilidad de comprometer a los clientes de manera digital y mejorar el desempeño de coste en cuatro áreas:

1. Toma de decisiones guiada por datos: cambio en los procesos de toma de decisiones desde modelos donde un directivo basa sus decisiones en la experiencia hacia modelos de decisión basados en la evidencia y los datos.
2. Conectividad: uso de la tecnología para desplegar relaciones y conexiones más profundas entre las empresas y los clientes.
3. Automatización de procesos: esfuerzos de automatización en procesos claves del negocio.
4. Tecnología de información a dos velocidades: operación de dos capacidades tecnológicas; la primera asociada a las plataformas diseñadas para entregar resultados rápidos a los clientes y las oportunidades identificadas y la segunda asociada a las tecnologías ya implantadas para optimizar las operaciones tradicionales y del *back-office* de la organización

Cultura ágil: además de las capacidades más duras (tecnología, conectividad, etc.), las capacidades más blandas, asociadas a la cultura, son aún más críticas en este proceso de transformación. Entre otros elementos culturales, las empresas exitosas con altos grados de cociente digital desarrollan habilidades relacionadas a velocidad, flexibilidad, innovación abierta y aprendizaje basado en el modelo *lean start-up*. Estas habilidades requieren automatización, seguimiento, conocimiento compartido y colaboración para unificar procesos y funciones que pueden estar aislados y demandan una cultura de respuesta rápida.

La innovación abierta o colaboración externa implica, para las organizaciones, la participación efectiva en redes de colaboración, aprendizaje e innovación. Aunque la creación de esas redes podría ser muy difícil para las empresas tradicionales, es importante que ellas asuman algún rol dentro de redes de colaboración ya existentes. Esta colaboración externa podría venir no sólo de contextos muy amplios de colaboración, sino que también de ejercicios más pequeños de colaboración con clientes. El cociente digital de McKinsey también encontró que las empresas líderes tienen una alta tolerancia por iniciativas radicales de cambio, mientras que los directivos de empresas más tradicionales y rezagadas tenían una cultura más adversa al riesgo. La recomendación clave de este estudio es que los directivos deben tomar decisiones, lo más pronto posible, que respondan a los retos disruptivos.

En relación con el aprendizaje basado en el modelo *lean start-up*, el principal mensaje es que las empresas deben probar, aprender, hacer seguimiento rápido, y reaccionar aún más rápido a través de la prueba de productos o modelos en el mercado. Si hay buen *feedback* del mercado, continuamos; si no, pivotamos y cambiamos a otro producto o modelos. Finalmente, la

colaboración interna es clave en cualquier proceso de cambio. Sin embargo, en la transformación digital, esto es aún más relevante debido a la necesidad de construir una columna vertebral de la organización que permita integrar los silos de la organización, desde las áreas de producción y soporte hasta las áreas comerciales y de satisfacción de los clientes.

En este estudio de McKinsey, observa que menos del 30% de las 150 empresas estudiadas tengan un alto grado de colaboración interna. Parece claro que la inversión millonaria en ERPs y plataformas colaborativas en estos últimos 30 años no ha sido suficiente y los directivos no han trabajado en lo más relevante: una cultura colaborativa interna.

Organización y talento: más allá de la cultura, las empresas líderes en el cociente digital desarrollan un conjunto de prácticas coherentes y alineadas con relación al talento, los procesos y la estructura. El factor más crítico para el éxito es el talento al nivel de gerentes medios. Es a este nivel que se ejecutan las iniciativas digitales y son los responsables del desarrollo de nuevos productos, servicios y modelos organizativos. Para encontrar el talento clave, las empresas deben comprender que las competencias o habilidades digitales pueden ser más importantes que el conocimiento del sector, al menos en las primeras etapas de la digitalización.

2.2.3. Mapa de madurez del Massachusetts Institute of Technology

El Centro para los Negocios Digitales del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) realizó un estudio donde participaron 400 empresas y donde se analizaron las iniciativas y oportunidades digitales que estaban siendo aprovechadas por estas. De este estudio surgió un modelo de madurez digital que describe cómo diferentes empresas están reaccionando o actuando a las oportunidades digitales. Este modelo de madurez digital combina dos dimensiones: la intensidad digital y la intensidad en la gestión de la transformación. La intensidad digital se define como el nivel de inversión en iniciativas guiadas por la tecnología para cambiar la manera como la empresa opera. La intensidad en la gestión de la transformación se refiere al nivel de inversión en capacidades de liderazgo para habilitar la transformación dentro de la organización.

De acuerdo con este modelo de madurez digital, las empresas pueden tener cuatro posibles niveles de madurez digital: alta intensidad digital y gestión de la transformación, baja intensidad digital de gestión de la transformación, o una mezcla de alta y baja para las dos dimensiones. La figura 2.3 muestra estos cuatro niveles.

Nivel 1- Principiantes digitales: estas empresas hacen muy poco con relación a las capacidades digitales, aunque pueden ser empresas maduras en el uso de aplicaciones empresariales tradicionales tales como los sistemas ERPs, o el comercio electrónico. Aunque algunos pueden estar en este cuadrante porque así lo han decidido, otras están aquí por su desconocimiento de las

oportunidades digitales o pueden estar comenzando alguna iniciativa digital, pero sin una gestión clara de la transformación.

Nivel 2- Seguidores de la moda digital: estas empresas han implantado o han experimentado con varias de las aplicaciones digitales de moda. Algunas de esas iniciativas podrían crear valor, pero muchas de ellas no lo hacen. Aunque estas aplicaciones podrían parecer muy buenas iniciativas, estas no fueron implementadas con el objetivo de crear sinergias entre ellas. Los seguidores de la moda digital tienen una alta motivación hacia el cambio habilitado por la tecnología, pero sus estrategias de transformación digital no tienen fundamentos sólidos ni están alineadas a una maximización del valor para la organización. En términos generales, a las empresas les falta una gobernanza de las iniciativas digitales a nivel corporativo, aunque podrían tener un grado mayor de madurez digital en algunas unidades o áreas del negocio.

Nivel 3 - Conservadores digitales: este tipo de empresas favorece la prudencia a la innovación. Estas empresas entienden la necesidad de desarrollar capacidades, cultura y alineación con la estrategia para garantizar el éxito en cualquier transformación. Sin embargo, estas empresas son escépticas con relación al valor que las nuevas tecnologías y plataformas digitales pueden entregar a sus objetivos. Este posicionamiento conservador se puede revertir en una situación de riesgos para ellas mismas ya que se pueden quedar rezagadas en comparación a sus competidores.

Nivel 4 – Dirigidas: estas empresas saben cómo explotar y generar valor a partir de la transformación digital. Estas empresas combinan una visión de transformación, gobierno e implicación, junto con una inversión suficiente en las nuevas oportunidades. El desarrollo de una cultura digital es una parte importante de las capacidades desarrolladas por estas empresas en sus viajes de transformación digital.



Figura 2.3. Mapa de Madurez del MIT

2.2.4. Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital (HADA)

El Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España a través de la secretaria general de industria y de la MiPyME, ha puesto en marcha la iniciativa Industria Conectada 4.0, cuyo objetivo es aumentar la contribución del sector industrial en el PIB, en el empleo y en el saldo positivo de la balanza comercial mediante el impulso de la transformación digital de la industria española.

En este proceso de transformación digital, es fundamental que las empresas conozcan el estado de digitalización en el que se encuentran. Para ello se ha elaborado una herramienta de diagnóstico avanzado (HADA), con el objetivo de apoyar y aproximar la nueva transformación digital empresarial. Con esta herramienta de autodiagnóstico, se quiere proporcionar un instrumento gratuito, moderno y de calidad que permita evaluar su nivel de madurez en relación con el nuevo paradigma de la Industria 4.0.

- **Objetivo:** permite evaluar el grado de preparación y madurez de una empresa para afrontar los retos de la industria 4.0
- **Resultados:** presentará tanto el resultado individual de la empresa como una comparación de esta con otras empresas.
- **Pionera:** dentro de la Unión Europea, es la única herramienta pública de autodiagnóstico de acceso gratuito que se pone a disposición de las empresas.

Permitirá la elaboración del Barómetro de Industria 4.0 y del Indicador de Madurez Digital de la Industria (IMDI)

Dicho modelo de madurez digital, sobre el que se basa el análisis de madurez de HADA, se aproxima a la empresa a través del análisis de las cinco dimensiones claves en la estrategia y operaciones de la empresa:

- **Estrategia y modelo de negocio:** evalúa la capacidad de adaptación de la organización al entorno y al mercado.
- **Procesos:** analiza las capacidades digitales del modelo operativo.
- **Organización y personas:** identifica las capacidades de la organización y su modelo de relación con otros agentes.
- **Infraestructuras:** identifica la capacidad de transformación que sus infraestructuras ciberfísicas permiten.
- **Productos y servicios:** evalúa el nivel de incorporación de tecnología a los productos y servicios existentes, así como su potencial de digitalización.

A su vez, se han identificado para cada dimensión aquellas palancas que permiten impulsar a la transformación digital de las empresas hacia la madurez en I4.0. Estas 16 palancas, son las áreas de trabajo que se utilizarán como guía para identificar las principales líneas de desarrollo de la empresa para alcanzar la madurez digital. Se agrupan como se muestra en la figura 2.4.

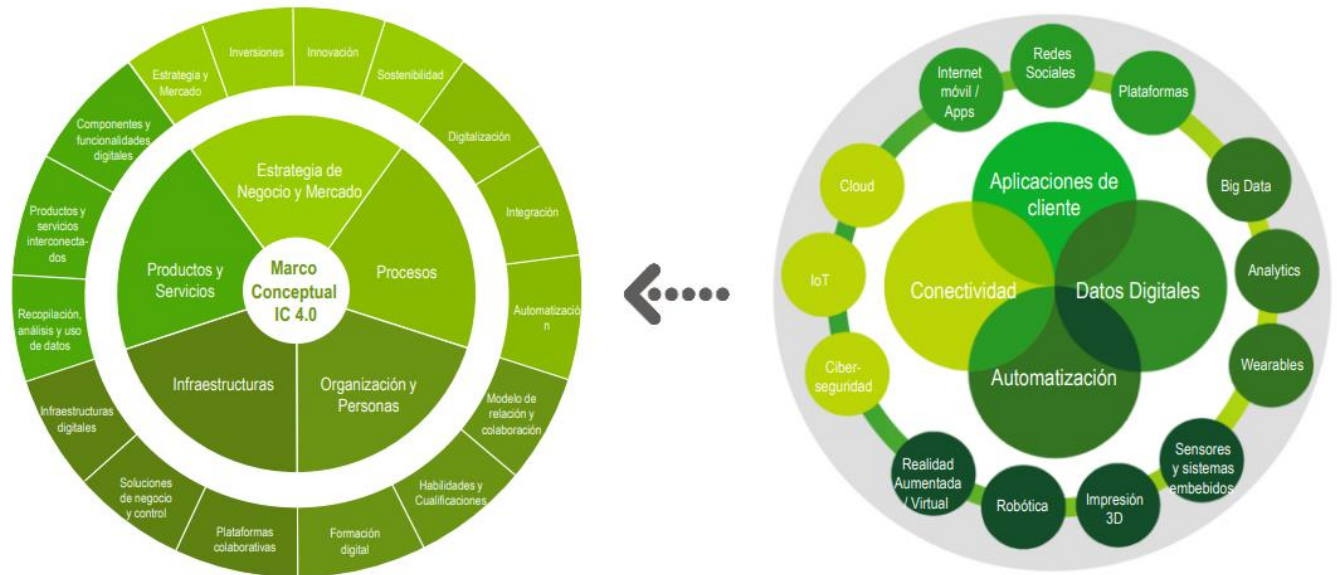


Figura 2.4. Dimensiones y palancas consideradas por la herramienta HADA

Con este modelo, se pretende ofrecer una visión integral de la empresa y los retos a los que se enfrenta, vinculando dichos retos con las palancas. La herramienta HADA, ofrece una evaluación completa de su organización, y le proporcionará conocimientos sobre algunos aspectos clave del modelo I4.0.

Una vez realizada la evaluación del nivel de madurez el modelo clasifica a la empresa según el grado de avance hacia la I4.0:

- Estático: las empresas catalogadas en este nivel no presentan ningún avance de transformación digital.
- Consciente: una empresa en este nivel está involucrada en la I4.0 a través de iniciativas.

Avances:

- Utilizan sistemas de gestión en algunos procesos de producción
- Integración de sistemas e intercambio de información limitados

- Competente: una empresa en este nivel incorpora iniciativas I4.0 en su estrategia.

Avances:

- Realizan inversiones asociadas a la I4.0 en varias áreas
- Recogen algunos datos de forma automática, pero su explotación es limitada

- Intercambian información entre sus diferentes áreas
- Comienzan a integrar la información que generan con la generada por sus proveedores y clientes.
- Dinámico: una empresa en este nivel ha definido una estrategia de transformación hacia la I4.0

Avances:

- Realizan inversiones en I4.0 en múltiples áreas
- Promueven nuevas soluciones en I4.0 a través de la gestión de la innovación
- Los sistemas de producción están totalmente integrados con los de gestión recogiendo la información de manera automática y en tiempo real
- Referente: una empresa referente utiliza una estrategia I4.0 y mide su avance con el seguimiento de los indicadores adecuados.

Avances:

- Realizan inversiones en casi todas las áreas y el proceso se apoya en la gestión de la innovación
- Recogen a través de los sistemas de gestión grandes cantidades de datos los cuales son utilizados en el proceso de mejora continua
- Intercambian información tanto a nivel interno como externo
- Utilizan soluciones de ciberseguridad en algún departamento
- Realizan estudios para aumentar la automatización y autocorrección de los procesos
- Incorporan funcionalidades tecnológicas a los productos que permiten la recopilación y el análisis de datos durante su uso
- Desarrollo de servicios adicionales basados en el análisis de datos
- Líder: en este nivel la empresa ha empezado la fase de implantación de la I4.0 realizando un seguimiento periódico del estado de la implantación de los proyectos apoyado por las inversiones en todas las áreas de la empresa.

Avances:

- Implantan un sistema de gestión de la innovación colaborativa a nivel interno y externo
- Introducen soluciones de ciberseguridad y soluciones de la nube que ofrecen una arquitectura tecnológica flexible
- Utilizan piezas inteligentes que se guían de forma autónoma, así como procesos que se relacionan entre sí sin la intervención humana
- Los productos cuentan con funcionalidades tecnológicas, los datos recogidos en la fase de uso son utilizados para el desarrollo de los nuevos productos y servicios
- Los servicios basados en el análisis de datos tienen una parte significativa de los ingresos

2.2.5. Industry 4.0 Readiness (Impuls)

La fundación IMPULS de la federación de ingeniería alemana (VDMA) con la dirección de IW Consult y el instituto de la gestión industrial (FIR), han realizado la herramienta online de autodiagnóstico Industry 4.0 Readiness. La aplicación evalúa el nivel de adaptación de las empresas a las soluciones I4.0 permitiendo conocer zonas de mejoras. Este modelo contempla seis dimensiones claves:

- Estrategia y organización: análisis de la estrategia y cultura corporativa. Aspectos críticos para la satisfactoria implementación de soluciones industria 4.0
- Fabricas Inteligente: evaluación de la planta industrial en cuanto al nivel de automatización del sistema productivo y la capacidad realizar una producción distribuida
- Operaciones inteligentes: utilización de piezas inteligentes con capacidad de dirigir las fases de producción
- Productos inteligentes: nivel de digitalización de los productos. Incorporando en el mismo componente TIC que ofrecen nuevas funcionalidades avanzadas
- Empleados: análisis de aspectos relativo al personal como pueden ser, nivel formativo y motivación en el proceso de transformación digital
- Servicio basado en datos: utilización de los datos recopilados en la mejora de la satisfacción del cliente con el producto final

Para la evaluación cuenta con cinco dimensiones subdivididas en puntos claves.

Estrategia y organización

- Estrategia
- Inversión
- Gestión de la innovación

Fabrica inteligente.

- Modelado digital
- Infraestructura del equipamiento
- Uso de datos
- Sistemas TI

Operaciones inteligentes.

- Uso de la nube
- Seguridad TI
- Automatización de los procesos
- Información compartida

Servicio basado en datos

- Datos de uso compartidos
- Réditos compartidos
- Servicio basado en datos

Empleados

- Adquisición de habilidades
- Habilidades actuales
- A partir del grado de adaptación de la empresa a cada una de las dimensiones anteriormente descritas se puede clasificar dentro de uno de los siguientes niveles:
- Nivel 0: empresas ajenas a la I4.0, en las que no se han acometido ninguna iniciativa ni han estudiado las posibilidades que ofrece la I4.0
- Nivel 1: empresas principiantes, se ubican en este nivel las empresas que hayan implementado alguna solución I4.0 de forma aislada
- Nivel 2: empresas intermedias, en este nivel se incluyen las organizaciones que hayan introducido en su estrategia de crecimiento iniciativas hacia la I 4.0
- Nivel 3: empresas experimentadas, han desarrollado una planificación estratégica de las necesidades tecnológicas, así como las fases de implantación
- Nivel 4: empresas expertas, empresas en proceso de implantación de soluciones I4.0 establecidas en la estrategia
- Nivel 5: empresas líderes, han culminado satisfactoriamente la implantación de soluciones hacia la I4.0

2.2.6. Índice de aceleración digital (DAI)

El índice de aceleración digital (DAI por sus siglas en inglés) es un modelo de madurez tecnológica ideado por Boston Consulting Group una de las mayores firmas de consultoría en 2019 para incentivar la implementación de la I4.0 en las organizaciones. Esta plantea que las nuevas tecnologías representan la oportunidad para aumentar indicadores de eficiencia y al mismo tiempo disminuir los costos. Define su enfoque de transformación digital como industrial, modular e iterativo, fijando como objetivo encontrar las debilidades y buscar necesidades que no están siendo satisfechas, todo ello recopilando información en la organización. A partir de este análisis se implementan las tecnologías idóneas para el avance de la empresa hacia la I4.0. Para lograr la excelencia operativa en una empresa la BCG plantea estructurar el tránsito hacia la I4.0 uniendo las nuevas tecnologías al uso de prácticas *lean manufacturing*. La implementación conjunta de los dos conceptos es denominada como Lean Industry 4.0. Estructuran la metodología hacia la I4.0 en cinco fases:

- Línea base y planificación:

Acciones:

- Definición de los objetivos esperados por los dirigentes
- Fijación del alcance de la transformación
- Recopilación de información acerca de la empresa
- Identificación de puntos débiles y áreas de mejoras

- Idea y visión:

Acciones:

- Presentación del prototipo de implantación
- Previsión del impacto
- Concienciación de los dirigentes
- Revisión de los resultados y comprobación de las oportunidades de mejora
- Visualización de los indicadores de rendimiento (cuantificación de la mejora)

- Definir y construir un producto mínimo viable (MPV)

Acciones:

- Desarrollo del MVP
- Implantación del MVP en planta
- Formación a través de metodologías lean
- Mejora iterativa, optimización de la solución

- Industrializar

Acciones:

- Análisis de los resultados de la experimentación
- Fijación de la solución objetivo
- Planificación de la capacitación e implantación de soluciones
- Previsión de futuras mejoras

- Habilitar y construir capacidades digitales sostenibles

Acciones:

- Cuantificación y evaluación de las TI
- Análisis de deficiencias
- Planear como satisfacer las deficiencias

La herramienta DAI evalúa el nivel madurez digital de las empresas, revelando sus fortalezas y debilidades digitales. Esta evaluación ayuda a determinar las capacidades digitales de una organización son deficientes o desequilibradas y comparar su nivel de digitalización con respecto a

sus competidores. Al mismo tiempo facilita el desarrollo de la hoja de ruta y la fijación de objetivos hacia la I4.0. La herramienta clasifica las empresas en los siguientes niveles:

- Pasivo digital
 - Desalineación entre estrategia de negocio y la implantación de TI
 - Implantación de soluciones aisladas
 - Ausencia de un plan específico para la digitalización
- Alfabetización digital
 - Existe una conciencia sobre la necesidad de la digitalización
 - Definición de una hoja de ruta a partir de ideas e iniciativa de los departamentos
 - Falta de visión conjunta en la planificación
- Trabajador digital
 - Alineación entre estrategia de negocio y la implantación de TI
 - Desarrollo de iniciativas de transformación digital con éxito
 - Promoción de tecnologías disruptivas
- Líder digital
 - Integración de las dimensiones de la compañía con el proceso de digitalización
 - Nivel de implantación superior al de los competidores del sector
 - Conciencia generalizada de lo digital como impulsor de valor
 - Defunción de una estrategia digital y una hoja de ruta

2.2.7. Modelo de arquitectura de referencia para la industria 4.0 (RAMI 4.0)

Modelo arquitectónico de referencia para la industria 4.0 (RAMI 4.0) consiste en una construcción tridimensional que abarca los aspectos clave de la I4.0 según lo previsto por la red europea Plattform Industrie 4.0. La idea central es servir como referencia para armonizar los intereses de las diferentes industrias involucradas en las discusiones, desde el proceso hasta la automatización de la fábrica, junto con cada uno de sus diferentes estándares, tecnologías de la información y la comunicación en un entendimiento común. Por lo tanto, las tareas y los flujos de trabajo se pueden dividir en partes más manejables, y el modelo sirve como una forma de identificar y evaluar el ajuste de los estándares existentes, las brechas, los posibles casos de uso y las relaciones entre los diferentes subespacios de la arquitectura de referencia. En la figura 2.5 se proporciona una representación visual de este modelo tridimensional.

Para la arquitectura RAMI 4.0 lo fundamental es la disponibilidad de toda la información relevante en tiempo real a través de la conexión en red de todas las instancias involucradas en la creación de valor, así como la capacidad de derivar el mejor valor posible de los datos en todo momento. Conectar personas, objetos y sistemas conduce a la creación de redes de valor dinámicas, auto organizadas, inter-organizadas y optimizadas en tiempo real de acuerdo con criterios como costos,

disponibilidad y el consumo de recursos. Este ciclo se basa en los deseos del cliente cada vez más individualizados y abarca desde la idea, el pedido, el desarrollo, la producción y la entrega al cliente final hasta el reciclaje y los servicios relacionados. En el eje horizontal derecho (Hierarchy Levels) RAMI 4.0 contiene los cinco niveles de la pirámide de la automatización, pero agrega dos niveles más: el “Producto” en la parte inferior de la pirámide, y el “Mundo Conectado” en la parte superior de la pirámide.

Por su parte, el eje horizontal izquierdo (*Life Cycle y Value Stream*) se utiliza para representar el ciclo de vida de los sistemas o productos y la cadena de valor. También hace la distinción entre “Tipo” e “Instancia” (*Type y Instance*) en la parte inferior del eje.

En el eje vertical define seis capas para representar seis perspectivas diferentes: procesos de negocios, descripciones funcionales, intercambio de información, integración de las tecnologías para la comunicación, integración de componentes (*hardware, software, documentos*) y activos.

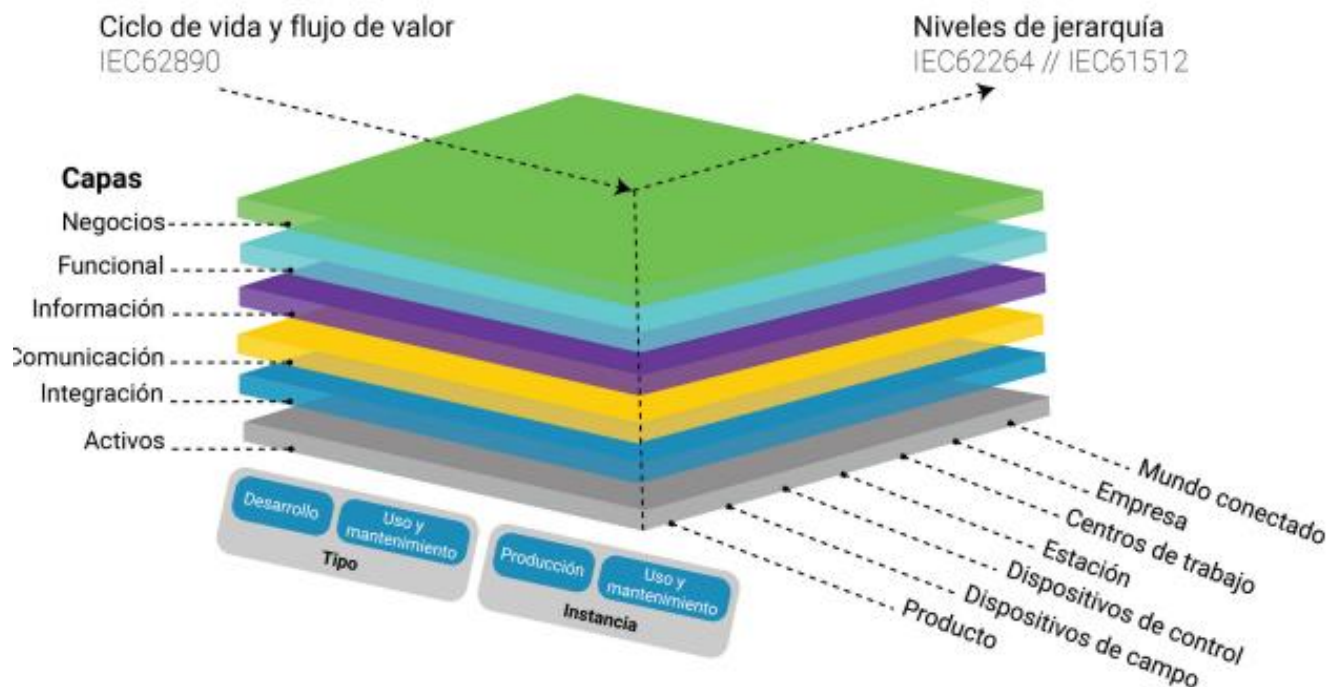


Figura 2.5 Modelo de arquitectura de referencia para Industrie 4.0 (RAMI4.0)

Las capas a su vez tienen un arreglo matricial de celdas que permite integrar otras instancias o tipos. Por ejemplo, los datos de un producto en posesión de un usuario se pueden integrar al proceso de fabricación y/o al ciclo de vida del producto para realizar cambios en el producto debido a un fallo en el diseño en la capa de comunicación se pueden utilizar las capas de los protocolos TCP/IP o algunas capas del modelo de referencia ISO.



Figura 2.6. Relación entre las capas del RAMI 4.0

2.3. Análisis comparativos de modelos de madurez proporcionados en artículos científicos

De acuerdo con la literatura revisada los modelos de madurez se utilizan por varias industrias y sectores económicos para la medición del avance en la transformación digital en el tránsito hacia la I4.0. Los datos analizados según el reporte de los hallazgos muestran la existencia de diversos modelos con énfasis en la mejora de capacidades organizacionales.

A continuación, se expone en la tabla 2.2 una comparación de modelos de madurez correspondientes a artículos científicos. Los criterios de comparación son autor, revista, tipo de estudio, principales resultados y conclusiones.

Tabla 2.2. Análisis comparativos entre modelos de madurez

Autor	Tipo de Estudio	Base de Datos	Principales resultados	Conclusiones
Schumachera, Erol y Sihna (2016)	Paper	Science Direct	En general, se definen nueve dimensiones y se asigna 62 elementos para evaluar la madurez de la Industria 4.0. Las dimensiones Productos, Clientes, Operaciones y Tecnología se crearon para evaluar los habilitadores básicos. Adicionalmente, las dimensiones Estrategia, Liderazgo, Gobernanza, Cultura y Personas permiten incluir aspectos organizacionales en la evaluación.	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrolla un modelo de madurez y una herramienta relacionada para la evaluación de la manufactura. - Utiliza un enfoque multi metodológico que incluye una revisión sistemática de la literatura, modelos conceptuales y métodos cualitativos y cuantitativos para la validación empírica. - La principal contribución de este esfuerzo de investigación es la inclusión de varios aspectos organizativos resultando en un modelo completo.
Aguiar, Bogeia, Rupino (2019)	Conference Paper	Scopus	Campos de acción para el proceso de transformación digital: <ul style="list-style-type: none"> - Clientes: experiencia de los consumidores, canales digitales - Proposición de valor: productos y servicios, portafolio - Organización: innovación, recursos humanos, cultura, participación, conocimiento, comunicación, agilidad de negocio - Datos: información y datos, seguridad 	La contribución de este documento es un marco, desde una perspectiva de proceso, arraigada en conceptos científicos sólidos, para guiar a los profesionales sobre cómo evaluar las iniciativas de transformación digital Los resultados tras la implementación en las empresas son: <ul style="list-style-type: none"> - Visión digital, metas y oportunidades identificadas

			<ul style="list-style-type: none"> - Operaciones: procesos, arquitectura empresarial, digitalización y automatización, monitoreo y control, portafolio. - Gestión: estrategia digital, cambios, gobernanza, modelo de negocio, estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estrategia digital alineada con los objetivos de transformación digital - Capacidades digitales, facultades de infraestructura tecnológica analizada - Acercarse a nuevas tecnologías digitales - Responsabilidades claras para la implementación de estrategias digitales - Apoyo de la dirección garantizado - Alineación con las estrategias funcionales y operacionales
Gill y VanBoskirk (2016)	Report	Scopus	Se presenta un modelo 4.0 de madurez empresarial digital. Ofrece puntos de referencia comparativos y guía las acciones para elevar las capacidades digitales	El modelo de madurez tiene cuatro dimensiones. Las empresas que tienen los niveles más altos tienen que enfrentar desafíos culturales, organizativos, técnicos y de conocimientos, se deben enfocar en tres actividades clave: desarrollo de la estrategia, gobernar las actividades digitales e impulsar la excelencia operativa.
Berghaus y Back (2016)	Paper	Science Direct	Las nueve dimensiones del modelo de madurez brindan una comprensión profunda de las palancas relevantes para gestionar la transformación digital. Las nueve dimensiones son: experiencia del cliente, innovación del producto, estrategia, organización, digitalización de procesos, colaboración, TIC, cultura y gestión.	La comprensión de la importancia estratégica de la digitalización, así como el uso de tecnologías para la colaboración, ya se emprenden en la mayoría de las empresas. Sin embargo, crear una experiencia de cliente personalizada basada en análisis de <i>big data</i> o la automatización de procesos, se caracteriza por menores

				tasas de logro. Esto indica que las etapas primarias del proceso de transformación digital están relacionadas con crear conciencia, promover el potencial que ofrecen las tecnologías digitales y experimentar con la innovación digital.
Bumann yPeter (2019)	Paper	Science Direct	Las principales dimensiones identificadas por este estudio son: identificación de la estrategia, organización, cultura corporativa, tecnología, el cliente y el personal.	Las seis variables, junto con dimensiones adicionales opcionales, se debatirá en todas las estrategias de transformación digital.
Caneta, Barni y Montini (2018)	Paper	IEEE (ICE/ITMC).	<p>Sección 1: la adopción de I4.0 tecnologías y métodos dependen de la estratégica de producción</p> <p>Sección 2: los procesos se centran en la integración de cross-company, procesos, recopilación de datos y seguridad informática</p> <p>Sección 3: examina el impacto de I4.0 en el producto o servicios</p> <p>Sección 4: cubre la dimensión tecnológica, se trata la implementación de tecnologías, centradas en el dominio I4.0.</p> <p>Sección 5: la dimensión recursos humanos, trata la presencia de personal dedicado a I4.0.</p>	<p>Se estableció un instrumento de evaluación destinado a proporcionar un análisis descriptivo de la madurez de las empresas con respecto a I4.0.</p> <p>El análisis realizado se toma como el inicio de la evaluación del impacto de la adopción de tecnologías y métodos I4.0 sobre la estructura de las empresas.</p>
Anderson y Ellerby (2018)	Consulting review	Deloitte	El modelo de madurez evalúa la capacidad digital en cinco dimensiones (cliente, estrategia, tecnología, operaciones y organización y cultura)	El modelo proporcionar lineamientos para que una organización tenga un progreso de transformación digital orientada a la

			las cuales se subdividen en 28 dimensiones, dentro de las cuales se evalúan 179 criterios individuales.	industria, a través de una exploración de las capacidades que le permiten visualizar las áreas a priorizar.
Carreiro y Martinho (2018)	Paper	Scopus	Al comparar los modelos mencionados se encontró que cada uno presenta atributos positivos, se decidió unir lo mejor de cada uno para realizar el modelo. El modelo de madurez propuesto tiene 41 variables considerando cinco dimensiones (organizacional estrategia, estructura y cultura; personal; fábricas inteligentes; procesos inteligentes; productos y servicios inteligentes). Por otra parte, las organizaciones en las que se probó el modelo mostraron niveles de implementación de Industria 4.0. A criterio de los encuestados, el modelo propuesto es útil para hacer un diagnóstico inicial y establece una dirección para proceder con la implementación	El modelo desarrollado por los autores ayuda a las empresas a autoevaluarse para la implementación de estrategias para implementar la Industria 4.0, así como a investigadores para entender los pasos que conlleva la transformación. Como limitantes se evidencia la poca participación de profesionales para validarlo.
Carolis, Macchi, Negri y Terzi (2017)	Paper	Springer International Publishing	El modelo propuesto utiliza diferentes dimensiones para evaluar las cinco áreas de fabricación que según los autores son: diseño e ingeniería, gestión de producción, gestión de calidad, gestión de mantenimiento y gestión logística.	Proporciona una descripción jerárquica de los procesos que presentan mayor o menor madurez mediante una puntuación, finalmente la evaluación permite identificar las áreas críticas de la organización manufacturera para la transición a la I4.0

Fuente: Elaboración propia basada en Reyes Coellar (2021)

De acuerdo con la literatura revisada los modelos de madurez son ineludibles para la medición del avance en la transformación digital. En tal sentido, Schumachera, Erol y Sihna (2016) presenta un modelo de madurez para la industria 4.0, cuyas dimensiones son: productos, clientes, operaciones, tecnología, estrategia, liderazgo, gobernanza, cultura y personal. A continuación, se revela de forma detallada las actividades que aborda cada dimensión:

- Estrategia: implementación manual, recursos disponibles para la realización, adaptación.
- Liderazgo: voluntad de los líderes, competencias y métodos de gestión, existencia de una coordinación central para I4.0.
- Clientes: uso de datos de clientes, digitalización de ventas/servicios, clientes, competencia en medios digitales.
- Productos: individualización de productos, digitalización de producto, integración de productos en otros sistemas.
- Operaciones: descentralización de procesos, modelos y simulaciones, participación interdepartamental.
- Cultura: intercambio de conocimientos, innovación, colaboración entre empresas.
- Personal: competencias de los empleados en TIC, apertura de los empleados a nuevas tecnologías.
- Gobernación: normativa laboral para la I4.0, idoneidad de estándares tecnológicos, información.

Estos resultados difieren de la propuesta de Aguiar, Boguea, Rupino y Mira, (2019), el cual reporta los resultados de un modelo de evaluación de procesos (PAM), que tiene como principales campos de acción: clientes, proposición de valor, organización, datos, operaciones y la gestión de la transformación; según los hallazgos encontrados el PAM abarca otras dimensiones, no obstante, la organización obtiene diversas ventajas como: una visión digital, estrategias en función de los objetivos de transformación digital, facultades de infraestructura tecnológica, acercamiento a la innovación tecnológica, entre otras.

Por su parte, el modelo de madurez presentado por Gill y VanBoskirk (2016), denominado Digital Maturity Model 4.0, sostiene cuatro dimensiones, que son cultura, tecnología, organización y conocimiento; no obstante, el aspecto que toma relevancia en la investigación es la forma de evaluación, cuya escala refleja que las organizaciones con niveles de madurez altos deben enfrentar desafíos en los aspectos: cultural, organizacional, técnico y de conocimientos, para lo cual, se proponen tres acciones fundamentales, la estructura de una estrategia, gestión de actividades digitales y promoción de la excelencia operativa.

A diferencia de los resultados expuestos, Berghaus y Back (2016), refieren a las etapas tradicionales del proceso de transformación digital indican las nueve dimensiones del modelo de madurez: experiencia del cliente, innovación del producto, estrategia, organización, digitalización de procesos, colaboración, TIC, cultura y gestión. Tras una evaluación empírica de la aplicación del modelo, se reportó que la mayoría de las organizaciones asimilan la importancia y aplicación de la digitalización, por lo que se emprenden en las organizaciones; no obstante, las organizaciones tienden a implementar únicamente las etapas primarias del modelo, dejando de lado aspectos relevantes como la personalización de la experiencia de clientes, con base al análisis *big data* o automatización de procesos.

En contraste, los hallazgos de Bumman y Peter (2019), reflejan un modelo basado en seis dimensiones. Los cuales proveen un importante marco de referencia para obtener éxito en el camino hacia la meta de la transformación digital. Con la finalidad de identificar a fondo las variables de cada una de las dimensiones mencionadas, se presenta la figura 2.7 con el detalle respectivo.



Figura 2.7 Subdimensiones del modelo de madurez **Fuente:** Bumann y Peter (2019)

El análisis realizado por Canetta, Barni y Montini (2018) proponen el modelo 4.0 para la digitalización, considerando que los factores estratégicos y tecnológicos, permiten a las organizaciones construir la ventaja competitiva, para ello, deben cumplir con cuatro fases para determinar qué productos se deben digitalizar. En la primera sección se identifica que la adopción de 4.0 depende en gran medida del tipo de organización. Al abordar la segunda sección se determina que el enfoque es la integración de procesos, recopilación de datos y la seguridad informática, la tercera sección examina el impacto del modelo en el producto o servicio. La cuarta sección cubre la dimensión tecnológica, es decir, trata la ejecución de tecnologías centradas en el dominio 4.0. Finalmente, la quinta sección resulta la dimensión de recursos humanos, en este punto se evalúa la presencia o no de personal capacitado para la aplicación del modelo. Mediante el desarrollo del trabajo, los autores proporcionaron un marco de evaluación enfocado en suministrar un análisis descriptivo de la madurez de las organizaciones bajo la herramienta 4.0, en este punto, es necesario la mejora en las investigaciones donde se evalúe la evolución e impacto de la adopción de tecnologías y métodos 4.0 sobre la estructura organizacional.

Por su parte, Anderson y Ellerby (2018) desarrollan un modelo de madurez con la consultora Deloitte, presentando el primer modelo estándar para la industria el cual comprende de cinco dimensiones que comprende el análisis a los clientes, las estrategias empleadas, la tecnología en los procesos y cultura. Al comparar las dimensiones de los autores se evidencia que analizan a las estrategias de las organizaciones para lograr la transformación digital, también la incorporación de TIC en el proceso de producción, se diferencian en que el primero analiza los servicios y el segundo añaden los consumidores y la cultura.

En la investigación de Carreiro y Martinho (2018) proponen otro modelo para la transición a la I4.0, para ello analizan tres modelos encontrados en la revisión literaria: Modelo de Schuc et al., 2017; de Schumacher et al., 2016 y Lichtblau et al., 2015, al compararlos se encuentra que presentan atributos tanto positivos como negativos, por ello se realiza un nuevo modelo con base a los mencionados. El modelo propuesto cuenta de cinco dimensiones: estrategia organizacional, estructura y cultura, fábricas inteligentes, procesos inteligentes y los productos y servicios inteligentes.

El único modelo que evalúa el de las capacidades nivel de madurez es el desarrollado por Carolis et al. (2017), en el que ilustran un modelo de madurez con base los principios CMM, para ello utilizan diferentes dimensiones como es el diseño e ingeniería, gestión de producción, gestión de calidad, gestión de mantenimiento y gestión logística.

2.4. Aprendizajes para la realización de la transformación digital

De la revisión de los diferentes modelos de referencia, en relación con la madurez digital en las organizaciones, se pueden identificar una serie de aprendizajes para la realización de la transformación digital de la empresa:

1. La transformación digital requiere un modelo interdisciplinario y multidimensional que redefina las bases y las premisas de cómo la organización compite, atiende y satisface las necesidades de los clientes, se interrelaciona con socios en ecosistemas organizacionales y genera ingresos y beneficios para los accionistas y/o inversionistas. Este modelo multidimensional debe incluir el desarrollo de capacidades relacionadas a la estrategia, las personas y la cultura, la estructura y la organización, los procesos de negocios, los modelos de toma de decisiones, y la tecnología de la información.
2. Los modelos de madurez digital están emergiendo como un marco integrado que permite a las organizaciones evolucionar progresivamente en el desarrollo de las capacidades claves para ser exitosos en la nueva era digital. Los modelos de madurez implican un proceso de progreso a lo largo de una línea continua, en contraposición a los planteamientos más radicales de transformación. Los modelos de madurez son unas herramientas que permiten medir el estatus o situación actual, trazar una ruta de progreso y avanzar incrementalmente hacia un grado superior de madurez. En este sentido, los modelos de madurez no dicen cómo hacer las cosas, sólo indican los pasos o etapas que hay que ir pasando para progresar hacia mayores niveles de madurez.
3. La transformación digital para la transición hacia la I4.0 requieren una alineación perfecta con la estrategia de la empresa. La estrategia debe identificar las oportunidades y amenazas generadas por el entorno digital, identificar la posibilidad de disrupción digital en el sector y asignar los recursos para la gestión de las oportunidades y la reducción de las amenazas. Todo lo anterior debe generar los objetivos de la transformación digital que serán el faro para avanzar en los diferentes escalones o etapas de la escalera de madurez.
4. El desarrollo de una cultura digital es uno de los pilares claves de la transformación digital en las empresas. La transformación digital requiere nuevos comportamientos de los directivos y gerentes medios para guiar la transformación y garantizar el aprovechamiento de las tecnologías y las plataformas digitales.
5. Los modelos de madurez presentan capacidades relevantes para todos los sectores y, en algunos casos, presentan capacidades específicas a ser desarrolladas para ciertos sectores.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Los modelos de madurez son unas herramientas que permiten medir el estatus o situación actual, trazar una ruta de progreso y avanzar incrementalmente hacia un grado superior de madurez. En este sentido, los modelos de madurez no dicen cómo hacer las cosas, sólo indican los pasos o etapas que hay que ir pasando para progresar hacia mayores niveles de madurez. Estos implican un proceso de progreso a lo largo de una línea continua, en contraposición a los planteamientos más radicales de transformación.
2. Con respecto a las prácticas recurrentes de las empresas para la madurez digital son las estrategias y la cultura organizacional, siendo las primeras la clave para lograr con éxito, mientras que la segunda implica el compromiso y la motivación al talento humano de la empresa.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. La literatura con respecto a la transición hacia la I4.0 en Cuba es escasa, por lo que se anima a la academia y profesionales en continuar con temas relacionados, que debido a las particularidades requieren de un amplio seguimiento y tiempo, para que los resultados consideren una muestra representativa.
2. Aplicar modelos de madurez en empresas a nivel nacional con la finalidad de aprovechar las directrices que brindan.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON,C.,ELLERBY,W.2016.Digital maturity model.Delloite
2. ARAIZA,M. GARCÍA,M. HERNÁNDEZ,J,M.2020. Formación dual: Favoreciendo al desarrollo de Talento 4.0.
3. AWAIS, M. y HENRICH, D. 2013. Human-Robot Interaction in an Unknown Human Intention scenario. 11th International Conference on Frontiers of Information Technology.
4. BAUERNHANS,T.2014. Energieeffizienz in Deutschland-eine Metastudie: Analyse und Empfehlungen.
5. BAUERNHANS,T. 2014. Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. Springer, Wiesbaden.
6. BECKER, J., KNACKSTEDT, R., PÖPPELBUß, J. 2009. Developing Maturity Models for IT Management. Bus. Inf. Syst. Eng. Volume 1, pp 213-222
7. BELVEDERE, V., GRANDO, A. y BIELLI, P. 2013. A Quantitative Investigation of the Role of Information and Communication Technologies in the Implementation of a Product-service System. International Journal of Production Research, 51 (2), 410-426.
8. BERGHAUS, S. 2016. Stages in Digital Business Transformation: Results of an Empirical Maturity Study, p. 18.
9. BERMAN,S,J. 2012. Digital transformation: opportunities to create new business models. Strateg. Leadersh volume 40, pp16-24.
10. BHAMU, J. y SINGH SANGWAN, K. 2014. Lean Manufacturing: revisión de literatura y temas de investigación. International Journal of Operations y Production Management, Vol. 34, pp. 876 - 940.
11. BLÖCHL, S. y SCHNEIDER, M. 2016. Simulation Game for Intelligent Production Logistics – The PuLL® Learning Factory. Procedia CIRP, 54, 130-135.
12. BOTTHOF, A. 2015. Zukunft der arbeit im kontext von autonomik und industrie 4.0. Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer, Berlin, pp 3–8
13. BRETTEL,M.,FRIEDERICHSEN,N.,KELLER,M.,RONSENBERG,M.2014.How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering volume 8 No 1

14. BUER, S. V., STRANDHAGEN, J. O. y CHAN, F. T. S. 2018. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940.
15. BUMANN, J Y PETER, M. 2019. Action Fields of Digital Transformation - A Review and Comparative Analysis of Digital Transformation Maturity Models and Frameworks
16. CALATAYUD, A y KATZ,R. 2019. Cadena de suministro 4.0 mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para américa latina
17. CAMACHO MIÑANO, M. M., MOYANO FUENTE, J. y SACRISTÁN DÍAZ, M. 2013. What can we learn from the evolutions of research on lean management assessment? *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 51, pp. 1098-1116.
18. CANETTA, L. BARNI, A. Y MONTINI, E. 2018. Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector, en 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Stuttgart, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICE.2018.8436292
19. CAROLIS, A; MACCHI, M; NEGRI, E Y TERZI, S. 2017. A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies, en *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*, vol. 513, R. Riedel, Ed. Cham: Springer International Publishing, pp. 13-20.
20. CARREIRO, R Y MARTINHO, J. L. 2019. An Industry 4.0 maturity model proposal, *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. ahead-of-print, n.o ahead-of-print, doi: 10.1108/JMTM-09-2018-0284.
21. CEDEÑO RODRIGUEZ. 2022. La realidad de la Industria 4.0 en Cuba.CubaDebate Disponible en <http://www.cubadebate.cu/especiales/2022/03/25/la-realidad-de-la-industria-4-0-en-cuba/>
22. CHANIAS, S., HESS, T., 2016. How digital are we? Maturity models for the assessment of a company's status in the digital transformation, *Management Report/Institut für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien*.
23. DE BRUIN, T., ROSEMANN, M., FREEZE, R., KULKARNI, U., 2005. Understanding the main phases of developing a maturity assessment model, en: *ACIS 2005 Proceedings - 16th Australasian Conference on Information Systems*.
24. DOMBROWSKI, U. y WAGNER, T. 2014. Mental strain as field of action in the 4th industrial revolution. *Proced CIRP*, 17, 100–105.
25. DRATH, R. y HORCH, A. 2014. Industrie 4.0: Hit or Hype. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), pp. 56-58.

26. FERNANDES,R. An Industrial Data Analysis and Supervision Framework for Predictive Manufacturing Systems
27. FERNÁNDEZ, A. M. y DE LAMA, S. D. P. 2018. La cuarta revolución industrial y la agenda digital de las organizaciones. *Economía industrial*, 407, 95-104.
28. FRASER, P., MOULTRIE, J., GREGORY, M., 2002. The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability, en: *IEEE International Engineering Management Conference*. pp. 244-249
29. GHOBAKHLOO,M. 2018. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Mangement* volume 29
30. GIMPEL,H.,HOSSEINI,S.,RÖLLINGER,M.,PROBST,L. 2018. Structuring Digital Transformation: A Framework of Action Fields and its Application at ZEISS.pp 1-24.
31. GIUSTO, D., IERA, G. A., MORABITO y ATZORI, L. 2010. *The Internet of Things*. Springer, New York.
32. GONZÁLES,Y y RODRÍGUEZ,S .La realidad de la Industria 4.0 en Cuba.CubaDebate: <http://www.cubadebate.cu/especiales/2022/03/25/la-realidad-de-la-industria4.0-en-Cuba>
33. GONZÁLEZ VARONA,J. 2021. Retos para la Transformación Digital de las PYMES: Competencia Organizacional para la Transformación Digital. Tesis doctoral.Valladolid.Programa de doctorado en ingeniería industrial.Universidad de Valladolid.
34. GORECKY, D., SCHMITT, M., LOSKYLL, M. y ZÜHLKE, D. 2014. Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era. 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN).
35. HADA 2017. Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital. Manual de usuario. España
36. HERMANN, M., PENTEK, T. y OTTO, B. 2016. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. 49th Hawaii international conference on system sciences (IEEE).
37. HESS, T., BENLIAN, A., MATT, C., WIESBÖCK, F., 2016. Options for Formulating a Digital Transformation
38. ITALIANA, R. 2017. Ministero dello sviluppo economico. Piano Nazionale Industria, 4.
39. JASCHKE, S. 2014. Mobile Learning Applications for Technical Vocational and Engineering Education. International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL).
40. KAGERMANN, H. 2015. Change through digitization value creation in the age of industry 4.0. *Management of permanent change*. Springer, Berlin, pp 23–45.

41. KANE, G.C., PALMER, D., PHILLIPS, A.N., KIRON, D., 2015a. Is Your Business Ready for a Digital Future? MIT Sloan Manag. Rev. 56, 37-44.
42. KANE, G.C., PALMER, D., PHILLIPS, A.N., KIRON, D., BUCKLEY, N. 2015b. Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation. MIT Sloan Manag. Rev. Deloitte Univ. Press 27.
43. KANE, G.C., PALMER, D., PHILLIPS, A.N., KIRON, D., BUCKLEY, N., 2016. Aligning the Organization for Its Digital Future. MIT Sloan Manag. Rev. Deloitte Univ. Press.
44. KANE, G.C., PALMER, D., PHILLIPS, A.N., KIRON, D., BUCKLEY, N., 2017. Achieving Digital Maturity. MIT Sloan Manag. Rev. Deloitte Univ. Press 31
45. KIESLER, S. y HINDS, P. 2004. Human-Robot Interaction. Human-Computer Interaction, Volume 19.
46. KUPPER, D., HEIDEMANN, A., STROHLE, D., SPINDELNDREIER, D. y KNIZEK, C. 2017. When lean meets Industry 4.0: the next level of operational excellence. BCG. Ha,tad fran.
47. LAGE DÁVILA,A.2022.Ciencia y desarrollo:La encrucijada de los cubanos.Cuba Socialista Disponible en <http://www.cubasocialista.cu/2018/02/20/ciencia-y-desarrollo-la-encrucijada-de-los-cubanos/>
48. LAHRMANN, G., MARX, F., METTLER, T., WINTER, R., WORTMANN, F., 2011. Inductive Design of Maturity Models: Applying the Rasch Algorithm for Design Science Research, en: Jain, H and Sinha, AP and Vitharana, P. (Ed.), Service-oriented perspectives in design science research: 6th International Conference.
49. LALOUX,F.2014. Reinventing organizations : a guide to creating organizations inspired by the next stage in human consciousness.Brussells, Belgium: Nelson Parker.
50. LASI, H., FETTKE, P., KEMPER, H. G., FELD, T. y HOFFMANN, M. 2014. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, 6(4), pp. 239-242.
51. LEGNER, C., EYMANN, T., HESS, T., MATT, C., BÖHMANN, T., DREWS, P., MÄDCHE, A. URBACH, N., AHLEMANN, F., 2017. Digitalization: Opportunity and Challenge for the Business and Information Systems
52. LIAO, Y., DESCHAMPS, F., ROCHA LOURES, E. D. y PIERIN RAMOS, L. F. 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
53. MAHOU,A,L.,DÍAZ,S. 2017. La cuarta revolución industrial y la agenda digital de las organizaciones.
54. MATT, C., HESS, T., BENLIAN, A., 2015. Digital Transformation Strategies. Bus. Inf. Syst. Eng.volume 57,pp 339-343.

55. MAYNARD, A. D. 2015. Navigating the Fourth Industrial Revolution. *Nature Nanotechnology* 10 (12), 1005-1006.
56. MAZAK, A. y HUEMER, C. 2015. A standards framework for value networks in the context of industry 4.0. *International conference on industrial engineering and engineering management (IEEE)*.
57. MEDINA SANTIAGO, A. y MARTINEZ CRUZ, A. 2018. *Industria 4.0. SEMINARIO INAOE*.
58. MIRANDA, J., MÄKITALO, N., GARCIA ALONSO, J., BERROCAL, J., MIKKONEN, T., CANAL, C. y MURILLO, J. M. 2015. From the Internet of Things to the Internet of People. *Internet Computing, IEEE, Volume:19*, pp. 40-47.
59. MORENO, A., VELEZ, G., ARDANZA, A., BARANDIARAN, I., DE INFANTE, A. y CHOPITEA, R. 2017. Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the industry 4.0 vision. *Int J Interact Des Manuf (Springer)* 11(2), 365–373
60. MORGAN, J. 2019. Will we work in twenty-first century capitalism? A critique of the fourth industrial revolution literature. *Economy and society* volume 48
61. NANTERME, P., 2016. Digital disruption has only just begun [WWW Document]. *World Econ. Forum*. URL <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/digital-disruption-has-only-just-begun/> [Accesado el 20 de octubre del 2022]
62. NANTERME, P. 2016.
63. Nexus Integra. “Los 7 Habilitadores de la Transformación Digital Industrial”, disponible en: <https://nexusintegra.io/es/habilitadores-digitales-industria> [Accesado el 19 de septiembre del 2022]
64. PAULK, M. C., CURTIS, B., CHRISSIS, M. B., WEBER, C., 1993. *Capability Maturity Model for Software (Version 1.1)*. (CMU/SEI-93-TR-024). Retrieved Sept. 06, 2020, from *Softw. Eng. Institute, Carnegie Mellon*.
65. PRAUSE, M. y WEIGAND, J. 2016. Industry 4.0 and object-oriented development: incremental and architectural change. *J Technol Manag Innov (SciELO Chile)*, 11(2), 104–110
66. QIN, J., LIU, Y. y GROSVENOR, R. 2016. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Proced CIRP (Elsevier)*, 52, 173–178.
67. RADZIOW, A., BILBERG, A., BOGERS, M. y MADSEN, E. S. 2014. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Proced Eng (Elsevier)*, 69, 1184–1190

68. REYES COELLAR, J.f. 2021 Análisis comparativo sobre destacados modelos y marcos de madurez en la transformación digital, con sus respectivos campos de acción. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Gestión Estratégica en Tecnologías de la Información. Universidad De Cuenca.
69. RÜTTIMANN, B. G. y STÖCKLI, M. T. 2016. Lean and Industry 4.0 – Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. *Journal of Service Science and Management*, 9 (6), 485-500.
70. SANDERS, A., ELANGESWARAN, C. y WULFSBERG, J. P. 2016. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering Management*, 9, 811-833.
71. SCHNEIDER, P. 2018. Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. *Rev. Manag. Sci* volume 12, pp 803-848
72. SCHUH, G., POTENTE, T., WESCH POTENTE, C. y HAUPTVOGEL, A. 2013. Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems. 11th Conference on Sustainable Manufacturing
73. SCHWARTZ, E.I., 2001. *Digital Darwinism: 7 breakthrough business strategies for surviving in the cutthroat Web economy*. Broadway Books.
74. SEBASTIAN, I.M., W. ROSS, J., BEATH, C., MOCKER, M., MOLONEY, K.G., FONSTAD, N.O. 2017. How Big Old Companies Navigate Digital Transformation. *MIS Q. Exec*
75. SIMONIS, K., GLOY, Y. y GRIES, T. 2016. INDUSTRIE 4.0—automation in weft knitting technology. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng (IOP Publishing)* 141(1), 12-14.
76. SIMPSON, J., WEINER, A. 1989. *The Oxford English Dictionary*, 2e. ed. Oxford University Press, Oxford, U.K.
77. SLACK, N., CHAMBERS, S. y JOHNSTON, R. 2010. *Operations management*, Pearson education.
78. SOSA, F. 2020. Contribución a la aplicación integrada de la Manufactura Esbelta y la Industria 4.0 en el sector empresarial. Tesis de pregrado. Cuba. Departamento de ingeniería industrial. Universidad Central Marta Abreu de las Villas
79. SUGIMORI, Y., KUSONOKI, K., CHO, F. y UCHIKAWA, S. 1977. Toyota production system and Kanban system: materialization of just-in time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, Vol. 15, pp. 553-564.
80. TEN HOMPEL, M. y OTTO, B. 2014. Technik für die wandlungsfähige Logistik. *Industrie 4.0. Deutscher Materialfluss-Kongress*.

81. TORO, C., BARANDIARAN, I. y POSADA, J. 2015. A perspective on knowledge based and intelligent systems implementation in industrie 4.0. *Proced Comput Sci (Elseiver)*, 60, 362–370
82. TRAN, M. 2014. Modeling Sustainability Transitions on Complex Networks. *Complexity*, 19(5), pp. 8–22
83. WAGNER, T., HERMANN, C. y THIEDE, S. 2017. Industry 4.0 impacts on lean production systems. *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems*
84. WANG, Y., MA, H.-S., YANG, J.-H. y WANG, K.-S. 2017. Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production. *Advances in manufacturing*, 5, 311-320.
85. WOLTER, M., MÖNNIG, A., HUMMEL, M., SCHNEEMANN, C., WEBER, E., ZIKA, G., HELMRICH, R., MAIER, T. y NEUBER-POHL, C. 2015. Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft, SzenarioRechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. *IAB Forschungsbericht*, 8, 1-69.
86. ZHENG,P.,SANG,Z.,LIU,Y.,LIU,C.2018. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering* volumen 13, pp.137-150