

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Facultad de Gestión y Alta Dirección**



Propuesta de modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana

Tesis para obtener el título profesional de Licenciada en Gestión con mención en Gestión Pública que presenta:

***Shaaron Smledy Challco Alban***

Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Gestión con mención en Gestión Empresarial que presenta:

***Miguel Angel Salas Salazar***

Asesor:

***Berlan Rodriguez Perez***

Lima, 2022

La tesis

**Propuesta de modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana**

ha sido aprobada por:

---

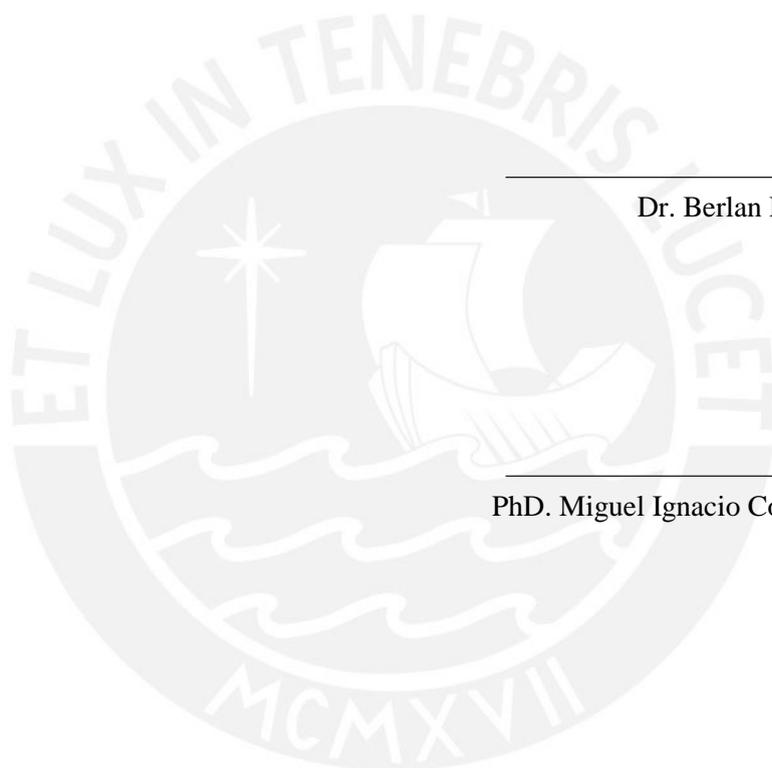
Mgtr. Germán Adolfo Velásquez Salazar  
[Presidente del Jurado]

---

Dr. Berlan Rodriguez Perez  
[Asesor Jurado]

---

PhD. Miguel Ignacio Cordova Espinoza  
[Tercer Jurado]



Esta investigación está dedicada a mis padres, quienes gracias a su esfuerzo y apoyo constante, me han dado la oportunidad de estar aquí, terminando mis estudios de pregrado. A mi hermano, Mateo, quien es mi inspiración para alcanzar todas mis metas. Gracias también al profesor Berlan, por toda la confianza depositada. Finalmente, a Miguel, por su paciencia, compromiso, soporte y demás; en sí, por ser un gran compañero.

**Shaaron Chalco**

Dedicado a mis padres, por haber dado su mayor esfuerzo y permitirme culminar a esta etapa. A mis abuelitas, por ser mi mayor motivación. A nuestro querido asesor, Berlan Rodriguez, por toda la confianza y respaldo brindado. Finalmente, a Shaaron, por su compromiso, motivación, apoyo incondicional y por ser, sin lugar a duda, la mejor compañera que hubiera podido tener.

**Miguel Salas**



## RESUMEN

La Industria 4.0 ha llevado a que las organizaciones en todo el mundo se vean en la necesidad de adaptarse a las nuevas tecnologías para continuar operando. Sin embargo, muchas de ellas no tienen claro cómo empezar este proceso de transformación en su situación específica, por lo que se les dificulta aprovechar los beneficios que esta cuarta revolución industrial conlleva. Es así como los modelos de madurez surgen como una herramienta que les brinda la posibilidad de conocer su estado actual con respecto a esta nueva tendencia y así integrarla a su cultura.

Por ello, debido a la falta de un modelo de madurez sobre la Industria 4.0 para el Perú, la presente investigación busca responder a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la estructura de un modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad de las organizaciones peruanas?

En cuanto a la metodología aplicada, el alcance y enfoque seguidos son exploratorio y cuantitativo. Asimismo, la estrategia general de la investigación es de tipo encuesta, con un horizonte temporal transversal. Se aplicaron 134 encuestas a personas con cargos de asistente en adelante, de las áreas de tecnología, innovación, operaciones y afines al tema de la investigación de organizaciones de todo tamaño y sector a nivel nacional. Estos datos fueron analizados a través de estadística descriptiva y un análisis factorial confirmatorio, para identificar las dimensiones más pertinentes para el modelo.

Como resultado se obtuvo que el modelo de madurez hacia la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana se encuentra compuesto por las dimensiones de Operaciones y Procesos, Tecnología, Cultura Organizacional, Productos y Servicios y Datos, las que son evaluadas a través de 24 preguntas.

Palabras Clave: Industria 4.0, innovación, modelos de madurez

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1. Problema Empírico .....	2
2. Justificación .....	5
3. Problema de Investigación .....	7
4. Preguntas de Investigación.....	7
4.1. Pregunta Principal.....	7
4.2. Preguntas Secundarias .....	8
5. Objetivos de Investigación.....	8
5.1. Objetivo general.....	8
5.2. Objetivos específicos .....	8
6. Viabilidad.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	10
1. Innovación.....	10
1.1. Definición .....	10
1.2. Tipos de innovación.....	12
1.3. Revoluciones industriales previas a la Cuarta Revolución Industrial .....	14
2. Industria 4.0 .....	17
2.1. Definición .....	17
2.2. Principales componentes.....	20
2.3. Principios de diseño .....	22
3. Modelos de madurez de la Industria 4.0 .....	24
3.1. Modelos de preparación y madurez más relevantes.....	26
4. Investigaciones empíricas sobre la Industria 4.0 y elaboración de modelos de madurez en Latinoamérica.....	32
CAPÍTULO 3: MARCO CONTEXTUAL.....	36
1. Situación del Perú con respecto a la Industria 4.0.....	36
2. Lineamientos e instituciones impulsores de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) en el Perú .....	39
2.1. Lineamientos.....	39
2.2. Instituciones.....	41
3. Avances con relación a la Industria 4.0 por sectores en el país.....	44
3.1. Sectores productivos .....	44
3.2. Sectores sociales .....	49
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
1. Alcance de la Investigación .....	52
2. Diseño de la Investigación .....	52

3. Herramientas de recolección de información .....	53
3.1. Selección de la muestra.....	53
3.2. Cuestionario.....	54
4. Herramientas para el análisis de datos .....	55
4.1. Análisis descriptivo.....	55
4.2. Análisis Factorial Confirmatorio .....	55
5. Flujograma de trabajo .....	56
6. Ética en la investigación.....	57
<b>CAPÍTULO 5: HALLAZGOS .....</b>	<b>58</b>
1. Elaboración del modelo de diagnóstico de madurez .....	58
2. Análisis de resultados a través de estadística descriptiva.....	61
2.1. Características generales de la muestra.....	62
2.2. Análisis descriptivo por dimensión.....	67
3. Análisis Factorial Confirmatorio.....	75
3.1. Modelo inicial.....	76
3.2. Primer ajuste .....	77
3.3. Segundo ajuste .....	78
3.4. Modelo final.....	80
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
1. Conclusiones .....	83
2. Limitaciones.....	85
3. Recomendaciones.....	85
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>
ANEXO A: Resumen del modelo de madurez propuesto por Schumacher et al. (2016).....	99
ANEXO B: Modelos de madurez y preparación de la Industria 4.0 existentes.....	100
ANEXO C: Estandarización de dimensiones de los modelos de madurez y preparación evaluados.....	103
ANEXO D: Cuestionario para la investigación.....	106
ANEXO E: Validación de experto .....	114
ANEXO F: Dimensiones iniciales del modelo propuesto en la investigación .....	115
ANEXO G: Relaciones entre variables observadas del Modelo inicial .....	117
ANEXO H: Relaciones entre variables observadas del Modelo final.....	118
ANEXO I: Relaciones entre variables no observadas del Modelo final .....	119

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de procesos de negocio .....	14
Tabla 2: Valores de aceptación de criterios a utilizar .....	56
Tabla 3: Decisiones en el diseño de un modelo de madurez .....	59
Tabla 4: Niveles de madurez del modelo propuesto .....	61
Tabla 5: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Operaciones y Procesos por nivel de madurez .....	68
Tabla 6: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Tecnología por nivel de madurez .....	70
Tabla 7: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Estrategia por nivel de madurez	71
Tabla 8: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Cultura por nivel de madurez ...	72
Tabla 9: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Productos y Servicios por nivel de madurez .....	73
Tabla 10: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Datos por nivel de madurez....	74
Tabla 11: Relaciones entre las variables no observadas del Modelo inicial.....	76
Tabla 12: Análisis de CR de las dimensiones del Modelo inicial .....	77
Tabla 13: Análisis del AVE de las dimensiones del Modelo inicial .....	77
Tabla 14: Análisis HTMT de las dimensiones del Modelo inicial .....	77
Tabla 15: Análisis de CR de las dimensiones del primer ajuste del Modelo .....	78
Tabla 16: Análisis del AVE de las dimensiones del primer ajuste del Modelo.....	78
Tabla 17: Análisis HTMT de las dimensiones del primer ajuste del Modelo .....	78
Tabla 18: Análisis de CR de las dimensiones del segundo ajuste del Modelo.....	79
Tabla 19: Análisis del AVE de las dimensiones del segundo ajuste del Modelo .....	79
Tabla 20: Análisis HTMT de las dimensiones del segundo ajuste del Modelo.....	79
Tabla 21: Análisis de CR de las dimensiones del Modelo final.....	81
Tabla 22: Análisis del AVE de las dimensiones del Modelo final.....	81
Tabla 23: Análisis HTMT de las dimensiones del Modelo final.....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perú: Empresas que invierten en Ciencia y Tecnología, según segmento empresarial, 2017.....	3
Figura 2: Perú: Empresas por segmento empresarial, 2018 .....	5
Figura 3: Tipos de innovación de acuerdo con su naturaleza.....	13
Figura 4: Resumen de la evolución de las revoluciones industriales .....	17
Figura 5: Relación entre las fábricas inteligentes, el Internet de las Cosas y los Servicios, y los CPS.....	22
Figura 6: Resumen del modelo de madurez propuesto por Ganzarain & Errasti (2016).....	29
Figura 7: Modelo de preparación propuesto por VDMA et al. (2015).....	30
Figura 8: Comparación de competitividad entre Chile y Perú, 2019 .....	37
Figura 9: Comparación en Capacidad de Innovación entre Chile y Perú, 2019.....	37
Figura 10: Flujograma del proceso de investigación.....	57
Figura 11: Etapas de desarrollo del modelo de madurez.....	58
Figura 12: Cantidad de repeticiones por dimensión .....	60
Figura 13: Cantidad de participantes según tipo de cargo.....	62
Figura 14: Cantidad de participantes según tipo de puesto directivo .....	62
Figura 15: Cantidad de participantes según tipo de puesto de mando medio.....	63
Figura 16: Distribución por tipo de organización.....	63
Figura 17: Distribución de organizaciones por sectores.....	64
Figura 18: Distribución de organizaciones según región de localización .....	64
Figura 19: Distribución de organizaciones por rango de ingresos .....	65
Figura 20: Distribución de organizaciones por cantidad de trabajadores .....	65
Figura 21: Distribución de organizaciones por rango de edad de los trabajadores .....	65
Figura 22: Distribución de organizaciones según años de operación.....	66
Figura 23: Distribución de organizaciones según posición actual en el mercado .....	66
Figura 24: Distribución de organizaciones según su conocimiento acerca de la Industria 4.0....	67
Figura 25: Distribución de organizaciones según motivo de no aplicación de la Industria 4.0 ..	67
Figura 26: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Operaciones y Procesos .....	69
Figura 27: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Tecnología.....	70
Figura 28: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Estrategia.....	71
Figura 29: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Cultura .....	72
Figura 30: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Productos y Servicios .....	73
Figura 31: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Datos.....	74
Figura 32: Estimación del modelo inicial propuesto .....	75



## LISTA DE ABREVIATURAS

APCI	Agencia Peruana de Cooperación Internacional
APEC	Foro de Cooperación Económica de Asia Pacifico
BM	Business Model (Modelo de negocio)
CCL	Cámara de Comercio de Lima
CITE	Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica
CONCYTEC	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica
CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
CPS	Cyber-Physical Systems (Sistemas Ciber-físicos)
CTI	Ciencia, Tecnología e Innovación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FONDECYT	Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica
GII	Global Innovation Index (Índice Mundial de Innovación)
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IoS	Internet of Services (Internet de los Servicios)
IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas)
KOICA	Agencia de Cooperación Internacional de Corea
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
Mipyme	Micro, pequeña y mediana empresas
ONG	Organización No Gubernamental
PBI	Producto Bruto Interno
PEA	Población Económicamente Activa
Pymes	Pequeñas y medianas empresas
PRODUCE	Ministerio de la Producción
RFID	Radio Frequency Identification (Etiquetas de Identificación de Radiofrecuencia)
SINACYT	Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica
SNI	Sociedad Nacional de Industrias
SOA	Service-oriented architecture (Arquitectura Orientada a Servicios)
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación

# INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo proponer un modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana. Con esta finalidad, se han elaborado seis capítulos.

En el primer capítulo, se expone el planteamiento de la investigación, el cual incluye el problema empírico identificado en las organizaciones del Perú y la brecha en cuanto a inversión en innovación y tecnología existente. Adicionalmente, se presenta la justificación, preguntas y objetivos que guían el desarrollo de la investigación. Además de ello, se muestra la viabilidad de la tesis.

El segundo capítulo presenta los conceptos teóricos de la investigación y está compuesto por cuatro partes. En primer lugar, se abordan las principales definiciones y tipos de innovación, y un breve resumen de las revoluciones industriales previas a la Industria 4.0. En segundo lugar, se exponen las principales definiciones, componentes y principios de diseño de la Industria 4.0. En tercer lugar, se presentan los modelos de preparación y madurez más relevantes. En cuarto lugar, se presentan investigaciones empíricas sobre la implementación de la Industria 4.0 y elaboración de modelos de madurez en Latinoamérica.

El tercer capítulo contextualiza el nivel de desarrollo y adopción de la Industria 4.0 en el Perú. Por ello, expone la posición actual del país con respecto a los principales indicadores relacionados a la Industria 4.0. Se describen también algunos lineamientos e instituciones que fomentan el desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación en el Perú. Finalmente, se muestran los avances hacia la Industria 4.0 en los principales sectores productivos y sociales del Perú.

En el cuarto capítulo se detalla el marco metodológico empleado en la investigación. Inicialmente se presenta el alcance, enfoque y diseño de la investigación. Luego se presentan las herramientas de recolección de información y análisis de información utilizadas, y la ética en la investigación. Además, se detallan las etapas llevadas a cabo para la investigación.

En el quinto capítulo se presentan los resultados, comenzando con el detalle del proceso seguido para la elaboración del modelo de diagnóstico de madurez y la elaboración del cuestionario. Asimismo, se presenta el análisis de las respuestas a través de estadística descriptiva y del análisis factorial confirmatorio, con el objetivo de evaluar las dimensiones e ítems del modelo. Se presentan también los ajustes realizados para alcanzar la validez del modelo.

Por último, en el sexto capítulo se detallan las conclusiones de la investigación y se elaboran recomendaciones para futuros abordajes del tema. Además, se señalan las limitaciones que se han encontrado durante el desarrollo de esta investigación.

# CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta el planteamiento de la investigación. Para tal efecto, en primer lugar, se detalla el problema empírico encontrado en las organizaciones del Perú y la brecha en cuanto a inversión en innovación y tecnología existente. En segundo lugar, se presenta la justificación, la cual es explicada desde su contribución social, organizacional y académica. En tercer lugar, se detallan las preguntas y objetivos que guían el desarrollo de la investigación. Finalmente, se muestra la viabilidad para llevar a cabo este estudio.

## 1. Problema Empírico

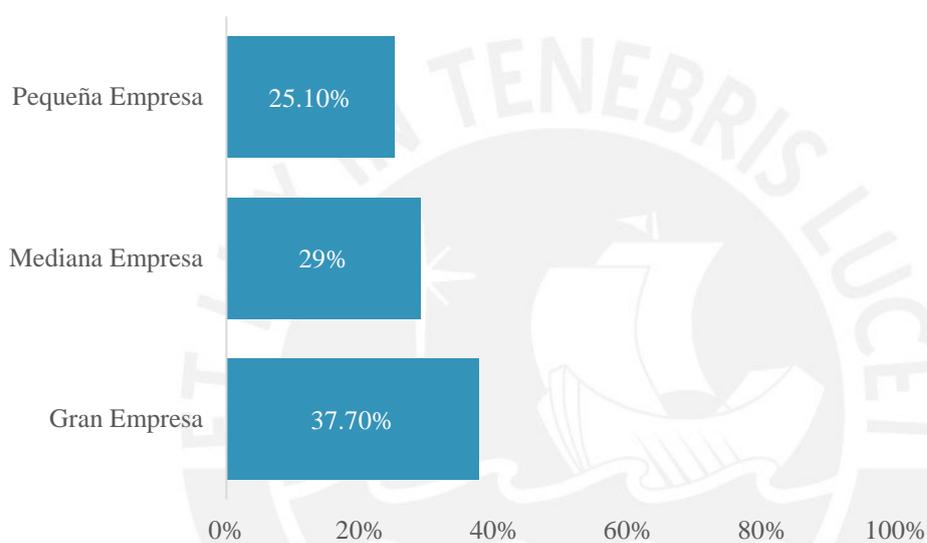
Con la llegada de la Industria 4.0, las organizaciones en todo el mundo se han visto en la necesidad de buscar formas de adaptarse, en miras de continuar con sus operaciones. Sin embargo, en general estas “no saben por dónde empezar para generar nuevas oportunidades de crecimiento o no saben cómo afrontar el desafío hacia la Industria 4.0 y cómo visualizar el paradigma de la Industria 4.0 en su situación específica” (Ganzarain & Errasti, 2016, p. 5).

El *World Economic Forum* (WEF) destaca que una economía exitosa en la Cuarta Revolución Industrial debe ser ágil, resiliente, centrada en el ser humano e innovadora (WEF, 2018). Con respecto a este último punto, innovación, algunos indicadores que permiten medir el nivel de desarrollo tecnológico en una región o país son el nivel de gasto en investigación y desarrollo (I+D), solicitud de patentes, porcentaje de ventas innovadoras, entre otros (Ministerio de la Producción [PRODUCE], 2020). En este marco, se ha identificado una gran brecha tanto en América Latina y el Caribe como en el Perú. En la región, el gasto en I+D, a comparación del resto del mundo es significativamente menor, lo cual se demuestra en que, mientras a nivel mundial se gasta el 2.3% del Producto Bruto Interno (PBI) en I+D, en la región solo se gasta el 0.7% (PRODUCE, 2020). Asimismo, el Perú tiene uno de los niveles de gasto en I+D más bajos, representando el 0.1% de su PBI (Ministerio de la Producción [PRODUCE], 2016), mientras que otros países como Argentina considera elevar su inversión en ciencia y tecnología a un 1% del PBI en 2023 (Bamericas, 2021). Además, de acuerdo al Índice Mundial de Innovación (GII), el cual posiciona a las economías mundiales según sus capacidades para innovar, el Perú se encuentra en el puesto 70 de 130 para el año 2021 (World Intellectual Property Organization [WIPO], 2021). Por otro lado, en cuanto a las patentes, del total de empresas del país, solo el 2.5% ha solicitado protección a sus innovaciones (PRODUCE, 2020).

Ahora bien, en términos de tamaño de empresas, el 37.7% de las grandes, el 29% de las medianas y 25.1% de las pequeñas empresas del país invierten en ciencia y tecnología (Ver Figura 1). Comparando estas cifras con Chile, país cuyo 89% de las Pymes invierte en tecnología y del 11% restante, el 58% señala que piensa invertir en este aspecto en el corto o mediano plazo

(Moraga, 2018), se muestra un gran contraste con respecto a la inversión en tecnología por parte de las Pymes peruanas, de las cuales menos del 40% destina recursos para la inversión en este aspecto. De esta manera, se evidencia la brecha existente en términos de innovación y desarrollo del Perú frente a otras economías, “tales como Brasil y Chile, países que poseen una alta dotación de recursos naturales de manera similar al Perú, pero tienen mayores niveles de inversión pública y privada en ciencia, tecnología e innovación, lo cual les permite incrementar su competitividad a través de la diversificación de su estructura productiva” (PRODUCE, 2016, p. 14).

**Figura 1: Perú: Empresas que invierten en Ciencia y Tecnología, según segmento empresarial, 2017**



Adaptado de Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2020b)

Asimismo, como se puede observar en la Figura 1, si bien no existe una amplia diferencia entre los niveles de inversión entre segmentos empresariales, queda en evidencia que el que realiza mayor inversión en ciencia y tecnología es la gran empresa. Esto se debe principalmente a que esta posee mayor capacidad de inversión y recursos, lo cual es respaldado por Rogers (2004), quien resalta que las empresas de mayor tamaño parecen tener una ventaja en la innovación, debido a que poseen flujos de efectivo más sólidos para financiar la innovación y tienen activos más altos para usar como garantía en la solicitud de préstamos. Además, pueden tener acceso a mayores conocimientos y habilidades de capital humano a comparación de las pequeñas empresas, resultando en mayores tasas de innovación. En este sentido, el segmento de Pymes es el que “menos usa este tipo de tecnologías, lo cual les genera pérdida de tiempo, aumento de sus costos, atención no adecuada a los clientes y, en consecuencia, reducción de sus ganancias” (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2020b, p. 3).

Es importante considerar también los efectos de la pandemia ocasionada por el Covid-19, los cuales han afectado significativamente a las organizaciones de todo tipo en el país. Con respecto a las empresas públicas, el 60% manifestó una reducción de hasta el 20% de sus ventas, el 17% entre el 21% y 50% y, el 10% entre el 51% y 85%<sup>1</sup> (Salinas, 2021). Asimismo, por el lado de las organizaciones del tercer sector, sus ingresos se han visto afectados también ya que, para muchas entidades supondrá una reducción de fondos en sus fuentes de financiación habituales (Fundación Ingenieros ICAI, 2020). En relación a esto, se menciona también que el Tercer Sector tiene un reto importante por delante: acelerar la transformación digital e integrar la innovación en la cultura de la organización, pues dichas organizaciones necesitan responder con mayor flexibilidad y adaptabilidad a los cambios en el entorno (Fundación Ingenieros ICAI, 2020). Por último, con respecto a las empresas privadas, se tiene que el 77% de las empresas ha presentado una reducción en la demanda de sus productos, el 59% manifestó la existencia de altos costos para implementar los protocolos de seguridad sanitaria establecidos por el gobierno, un 52.8% experimentó retrasos en el cobro de sus facturas, el 50.4% presentó paralizaciones en su producción, y el 45% reportó pérdidas del capital de trabajo<sup>2</sup> (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2020a). Además, la pandemia ha ocasionado una disminución del 8.7% del consumo privado, dado el deterioro del mercado laboral, a consecuencia de las restricciones al acceso de bienes y servicios y por el crecimiento de la desconfianza del consumidor (Salinas, 2021).

Tomando en cuenta la situación complicada por la que están atravesando las empresas y organizaciones en general en el país, “una transformación basada en las tecnologías digitales se ha convertido en el único recurso viable para competir y mantener los negocios en pie en un mundo que no solo es cada vez más competitivo, sino que, además, está marcado por la situación ocasionada por la pandemia” (La Vanguardia, 2021). Además, el Covid-19 ha sido un acelerador de la transformación digital y las empresas se han visto en la necesidad de acelerar su adaptación hacia la digitalización, comprimiendo años de trabajo de transformación digital en solo unos meses (MIT Technology Review & Everis, 2021). A pesar de esto, como se ha visto, en el Perú, “aunque existen algunas empresas con elevada productividad, la mayoría es poco eficiente y con reducida capacidad para realizar innovaciones de manera intensiva y aprovechar las ventajas del cambio tecnológico y las oportunidades comerciales globales” (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], 2006, p. 26). Adicionalmente, la mayor

---

<sup>1</sup> Datos recogidos por PwC Perú en base a información financiera de 30 empresas públicas

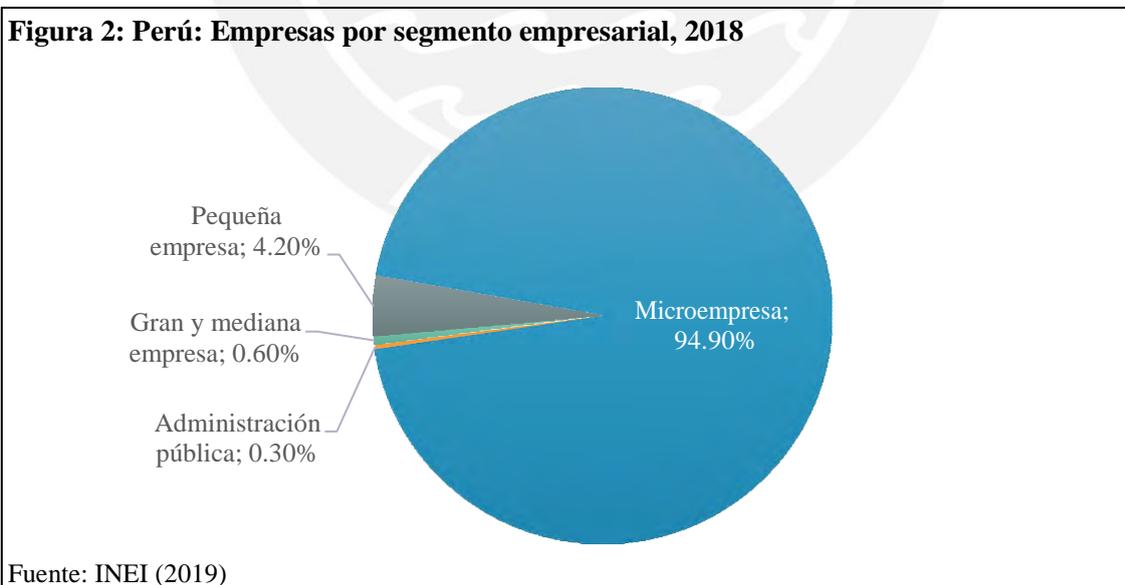
<sup>2</sup> Información recogida de la “Encuesta sobre el impacto del Covid-19 en las empresas” aplicada a una muestra de 929 empresas en el área metropolitana de Lima y Callao

parte de las empresas no saben cómo responder ante la llegada de la Industria 4.0 y sus tecnologías; en consecuencia, tienen problemas para entenderlas e incluirlas en su estrategia de negocios (Jacquez & López, 2018; Rejikumar, Sreedharan, Arunprasad, Persis & Sreeraj, 2019).

Por todo lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que existe una gran brecha sobre cómo adaptarse a la Industria y a la transformación que esta implica, lo cual se evidencia en el bajo nivel de inversión en innovación, ciencia y tecnología en el Perú y sus organizaciones. Esto afecta a las organizaciones de todo tipo y tamaño en el Perú, sobre todo en el contexto actual, que demanda una mayor digitalización.

## 2 Justificación

En el Perú, a junio de 2021, el Directorio Central de Empresas y Establecimientos, registró 2 millones 896 mil 533 empresas activas (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2021), cifra mayor en 10,2% en comparación con similar periodo del año anterior. Ahora bien, en cuanto a la distribución por segmento empresarial, se tiene que para el año 2018, del total de unidades empresariales del país, “2 millones 270 mil 423 fueron clasificadas como microempresas (94,9%), seguido de 100 mil 443 pequeñas empresas (4,2%), 14 mil 281 grandes y medianas empresas (0,6%) y 7 mil 886 que representaron a la administración pública (0,3%)” (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2019, p. 22). A partir de esta información, se elaboró la Figura 2, la cual permite visualizar que la estructura empresarial del Perú está principalmente compuesta por microempresas.



Estos segmentos empresariales son sumamente importantes para la economía del país pues contribuyen en la generación de empleo e ingresos. Por un lado, se tiene que las Mipyme (Micro, pequeña y mediana empresas) generan alrededor del 59% de la PEA (Población Económicamente Activa) ocupada y que 8 de cada 100 personas de la PEA ocupada son

conductoras de una Mipyme formal (Ministerio de la Producción [PRODUCE], s/f). De igual manera, las Pymes registran ventas anuales en constante crecimiento que equivalen a un 19.3% del PBI (Sociedad de Comercio Exterior del Perú [ComexPerú], 2020); mientras que las cinco empresas más grandes del Perú registraron ingresos que representan el 2.5% del PBI (18,369 millones de soles) para el año 2020<sup>3</sup> (America Economía, 2021a). Del mismo modo, en cuanto al sector social, en el Perú existen aproximadamente 1480 Organizaciones No Gubernamentales (ONG) registradas en la Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI) (Redacción Gestión, 2015). Dichas instituciones buscan contribuir en la atención de necesidades de la población y mejora en la calidad de vida desde diversas aristas, conociéndose así que el 17% interviene en el sector educación, el 16.3% en agricultura, el 15.9% en el sector mujer y desarrollo social, el 15% en salud y el 5.5% en trabajo y promoción social (Redacción Gestión, 2015). En este sentido, se busca impactar en la mejora de estas organizaciones incrementando su eficiencia, competitividad y adaptación a la transformación digital.

Además, como señalan Jacquez y López (2018), un modelo único de madurez no puede ser representativo para todos los países, debido a que no existe homogeneidad ni siquiera en países con el mismo desarrollo tecnológico. En este sentido, cada modelo de madurez y las dimensiones que lo componen deben ser adaptados a su campo de aplicación, por lo que la construcción de un modelo de diagnóstico de madurez de la Industria 4.0 adaptado a la realidad de las organizaciones peruanas, permitirá que estas puedan evaluar su nivel de adopción de las tecnologías relacionadas a la Industria 4.0 con una herramienta que haya tomado en consideración las características propias, recursos y contexto del Perú. Asimismo, el resultado producto de esta evaluación brinda a las organizaciones un primer insumo para la implementación y/o adaptación de las nuevas tendencias de la cuarta revolución industrial. Esto cobra relevancia pues una vez que las organizaciones tienen una perspectiva clara de su madurez digital, pueden explorar su entorno en busca de oportunidades generadas por las tecnologías digitales, a partir de las cuales, se empieza a desarrollar una hoja de ruta para la transformación digital. Así, los líderes de estas organizaciones comenzarían a tomar decisiones enfocadas en la inclusión e inversión en las nuevas tecnologías derivadas de la Industria 4.0 (De Carolis, Macchi, Negri & Terzi, 2017). Por lo que, este modelo brinda una orientación a las organizaciones y las asiste en su transición hacia

---

<sup>3</sup> Número calculado a partir de los ingresos registrados por las empresas Primax, InRetail Perú Corp. y Sub., Credicorp, Southern Perú Copper Corp. Sucursal del Perú, Essalud y Petroperú en 2020, según el ranking “500 Mayores Empresas de Perú 2021”

la transformación digital y, por ende, a la adopción de las prácticas y tecnologías de la Industria 4.0. (Gökalp, Şener Eren, 2017).

En cuanto al aporte teórico de la investigación, se busca cubrir el vacío existente con respecto a estudios relacionados a la Industria 4.0 y sus modelos de madurez, tanto para Latinoamérica como para en el Perú, puesto que gran parte de los estudios sobre este tema provienen de países europeos como Italia, Polonia, Noruega, Alemania, Turquía, República Checa y Austria (Jacquez & López, 2018). Asimismo, se busca iniciar la inclusión del tema en la agenda y estrategia de las organizaciones peruanas, así como en futuras investigaciones relacionadas.

Finalmente, la presente investigación aporta a las recientes iniciativas que promueven la Sociedad Nacional de Industria de la mano del Ministerio de la Producción, tal es el caso del evento virtual: “Hacia una Industria 4.0: casos de éxito y taller de diagnóstico de madurez industrial”, en donde se abordó el tema de la Industria 4.0 y la importancia de su adaptación a las empresas peruanas, sobre todo a las micro, pequeñas y medianas. De la misma manera, se busca contribuir con los esfuerzos realizados por el Estado Peruano en materia de Industria 4.0. Tal es el caso de la Política Nacional de Competitividad y Productividad (PNCP), que a través de la generación de investigaciones impulsa el desarrollo de la industria 4.0 en el Perú. También se destaca al Sistema Nacional de Transformación Digital, el cual tiene por objetivo fomentar e impulsar la transformación digital de las entidades públicas, las empresas privadas y la sociedad en su conjunto, así como impulsar la innovación digital (Decreto de Urgencia N° 006-2020, 2020).

### **3. Problema de Investigación**

En el problema empírico se pudo evidenciar que existe una brecha con respecto a la inversión en innovación y adquisición de tecnología por parte de las organizaciones del país, lo que se traduce en una poca preparación para la implementación de la Industria 4.0. Asimismo, se abordó la necesidad de adaptarse a las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 y transformación digital, dado el contexto actual. En el apartado de justificación, se expuso la importancia e impacto de las organizaciones privadas, públicas y sociales en la generación de puestos de trabajo y aporte al PBI, así como también la ausencia de modelos de madurez aplicados para la realidad peruana. Es así como surge una oportunidad de investigación, dada la necesidad de conocimiento y comprensión sobre los conceptos de la Industria 4.0 y su aplicación por parte de las organizaciones que operan en el país.

### **4. Preguntas de Investigación**

Las preguntas planteadas para la investigación son mostradas a continuación:

#### **4.1. Pregunta Principal**

¿Cuál es la estructura de un modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad de las organizaciones peruanas?

#### **4.2. Preguntas Secundarias**

- ¿En qué consisten los principales componentes y principios de la Industria 4.0?
- ¿Cómo se encuentra el Perú y sus principales sectores productivos y sociales con respecto a la Industria 4.0?
- ¿Qué postulan los modelos de madurez hacia la Industria 4.0 y sus dimensiones?
- ¿Cuáles son las dimensiones de un modelo de diagnóstico de madurez de la Industria 4.0 aplicables a las condiciones del Perú?

### **5. Objetivos de Investigación**

La presente investigación cuenta con los siguientes objetivos:

#### **5.1. Objetivo general**

- Proponer un modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana.

#### **5.2. Objetivos específicos**

- Exponer los principales componentes y principios de la Industria 4.0.
- Describir la situación actual del Perú y los principales sectores productivos y sociales con respecto a la Industria 4.0.
- Analizar los modelos de madurez de la Industria 4.0 más relevantes a nivel mundial y sus dimensiones.
- Determinar las dimensiones que componen un modelo de madurez de la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana

### **6. Viabilidad**

Existe un amplio contenido teórico con respecto al eje temático, el cual se encuentra presente en diversas bases de datos tales como JStor, Scopus, Web of Science y ProQuest. Asimismo, con respecto a las organizaciones peruanas, existe numerosa información sobre sus sectores, tales como reportes e informes, los cuales son de carácter público y se pueden acceder a ellos a través de las fuentes oficiales del gobierno, como el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Ministerio de la Producción (PRODUCE) y Sociedad Nacional de Industrias (SNI), entre otros.

Por otro lado, se contó con el apoyo de la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), a través de la Coordinación del Vínculo con Organizaciones, la cual busca establecer relaciones académicas y laborales entre la facultad y organizaciones del sector social, público y empresarial. Esta institución fue clave para la captación de organizaciones interesadas en formar parte del estudio. Finalmente, la presente tesis forma parte del Proyecto “Modelo de diagnóstico automatizado del nivel de madurez de una organización para la implementación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0”, financiado por CONCYTEC, lo que garantiza la disponibilidad de recursos necesarios. Por todo lo mencionado, se puede inferir que este trabajo de investigación es viable.



## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

El marco teórico se encuentra compuesto de cuatro partes, las cuales permitirán conceptualizar los aspectos teóricos relevantes para la investigación. La primera de ellas aborda la innovación, sus principales definiciones y tipos, y las revoluciones industriales previas a la llegada de la Industria 4.0. En segundo lugar, se explicará la Industria 4.0, así como también sus principales definiciones, componentes y principios de diseño. En tercer lugar, se exponen los modelos de preparación y madurez más relevantes. Finalmente, se incluyen investigaciones empíricas realizadas previamente con respecto a Industria 4.0 y sobre la elaboración de modelos de madurez en Latinoamérica.

### **1. Innovación**

El papel de la innovación es clave en las revoluciones industriales pues, en la medida que esta surge, el paradigma de la sociedad cambia significativamente. Por ello, en esta sección, se abordará la definición de innovación, su impacto en la competitividad y los tipos existentes. Asimismo, se hará un resumen sobre las revoluciones industriales que han ocurrido a lo largo de la historia, previas a la aparición de la Industria 4.0 y los principales cambios que produjeron.

#### **1.1. Definición**

Existen múltiples definiciones del término innovación (Hidalgo, León & Pavón, 2013). Asimismo, con el tiempo, esta ha ido evolucionando y agregando nuevas perspectivas. Por ello, en esta sección, se revisarán algunas de las principales definiciones propuestas.

Uno de los precursores en el tema, Schumpeter (1934) menciona que todo aquel que busque generar ganancias, debe innovar. Es así como introduce a la innovación como una fuente de crecimiento para las empresas, que surge a partir de la aplicación de ideas o invenciones. Esta puede darse de cinco maneras: (1) introduciendo un nuevo producto o proceso que posee elementos diferenciadores respecto a los existentes; (2) aplicando un método de producción o venta nunca antes probado en el mercado; (3) ingresando a mercados en los que no haya tenido presencia anteriormente; (4) adquiriendo nuevas fuentes de suministro de insumos, materias primas o productos intermedios; o (5) cambiando la estructura de la industria a través de la introducción de nuevas formas de competir, como la creación o destrucción de monopolios. Asimismo, el autor considera a la innovación como un motor esencial de la competitividad, que causa una “destrucción creativa”, la cual hace referencia a un proceso de mutación industrial que continuamente revoluciona la estructura económica desde adentro, en donde las innovaciones entrantes reemplazan a las existentes que se vuelven obsoletas con el tiempo (Schumpeter, 1942).

Por su parte, Dosi (1988) indica que la innovación hace referencia a la búsqueda, descubrimiento, experimentación, desarrollo, imitación y adopción de nuevos productos,

procesos de producción y estructuras organizacionales. Sumado a ello, precisa que los resultados de los esfuerzos realizados son difícilmente conocidos con precisión de manera *ex ante*, pues se tiene que llevar a cabo primero las acciones mencionadas líneas arriba. En consecuencia, la innovación involucra un elemento fundamental de incertidumbre, ante la imposibilidad de rastrear con exactitud las consecuencias.

La Comisión de las Comunidades Europeas (1995) define la innovación como un impulsador hacia objetivos desafiantes de largo plazo de las organizaciones. Asimismo, Jordán (2011) menciona que la innovación es una característica propia de las empresas ya que, casi la mayoría de estas surgen de una actuación innovadora, al menos en relación a lo ya existente en el mercado. Debido a esto, para mantener su posición y alcanzar mayor crecimiento, las empresas buscan constantemente encontrar nuevas formas de operar, aunque sea de forma progresiva. Sin embargo, esto no involucra únicamente la incorporación de los avances tecnológicos; sino que, para garantizar el éxito, las empresas deben desarrollar la capacidad de prever las tendencias del mercado, controlar los costes, dominar los plazos, y ofrecer productos y servicios de calidad con funcionalidades novedosas.

En adición, al igual que los autores anteriores, también menciona el impacto que tiene sobre la ampliación y renovación de productos, servicios y mercados; y la transformación de los métodos de producción, abastecimiento y distribución. Sin embargo, señala también que esta se traduce en cambios en la gestión y organización del trabajo, en las condiciones del trabajo y las cualificaciones de los trabajadores.

De la misma manera, Damanpour, Walker & Avellaneda (2009) expresan que la adopción de la innovación es impulsada por las oportunidades, amenazas y cambios en el entorno, que llevan a las organizaciones a adaptarse para responder a las demandas de sus consumidores, operar de manera eficiente y efectiva y mantener o mejorar su desempeño.

Por último, una de las definiciones más actuales es la propuesta por el Manual de Oslo, que postula que “una innovación es un producto, proceso nuevo o mejorado (o una combinación de los mismos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad, y que ha sido puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o puesto en uso por la unidad (proceso)” (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] & Eurostat, 2018, p. 20). Además, señala que es una actividad dinámica y omnipresente; es decir, que ocurre en todos los sectores de una economía, dándose así en empresas del sector privado, instituciones del gobierno y organizaciones sin fines de lucro.

De acuerdo con el tipo de organización, la innovación puede ser aplicada de diversas maneras. Por ejemplo, las instituciones del sector gubernamental ofrecen bienes y servicios

basados en consideraciones políticas y sociales, más que en la búsqueda de maximización de beneficios u objetivos comerciales relacionados. Esto influye en el tipo de innovación que realizan pues, comúnmente, persiguen objetivos redistributivos o relacionados con el consumo, que son exclusivos del gobierno. De esta manera, su aplicación incluye el uso frecuente de la colaboración, incluso con organizaciones de otros sectores, y la coproducción de innovaciones (OCDE & Eurostat, 2018). Asimismo, la ausencia de un mercado también altera los incentivos para la innovación y métodos para medir los resultados de su aplicación, los cuales se han basado en medidas subjetivas auto informadas, como un aumento en la eficiencia o una mayor satisfacción del usuario (Bloch & Bugge, 2013). En cuanto a las instituciones sin fines de lucro, estas producen o distribuyen bienes o servicios, mas no son fuente de ingreso, beneficio u otra ganancia financiera para las unidades que las establecen, financian o controlan. La innovación en este sector se da en la forma de “innovación social”, la cual se enfoca en brindar nuevas soluciones a desafíos sociales, en nuevas formas de colaboración (Osburg & Schmidpeter, 2013) y tiene como finalidad mejorar el bienestar de las personas o comunidades (OCDE & Eurostat, 2018). Al igual que en el sector gubernamental, el medir la innovación para estas instituciones es un reto, ya que el impacto final es más difícil de detectar y el impacto externo a menudo solo se puede ver después de varios años (Osburg & Schmidpeter, 2013).

En suma, se puede definir a la innovación como una actividad que continuamente revoluciona la estructura económica, pues postula la introducción de nuevos productos, procesos de producción y estructuras organizacionales. Esta genera que innovaciones entrantes reemplacen y vuelvan obsoletas a las existentes. Por ello, es necesario que las organizaciones estén aplicándola continuamente, poniendo nuevos productos o servicios a disposición de los usuarios potenciales o implementándola en los procesos de la organización; de esta manera, operen de manera eficiente y efectiva, y mantengan o mejoren su desempeño. Por último, su aplicación no solo se limita a las empresas privadas, sino que se puede dar en todos los sectores de una economía, incluyendo a organizaciones del sector gubernamental y sin fines de lucro.

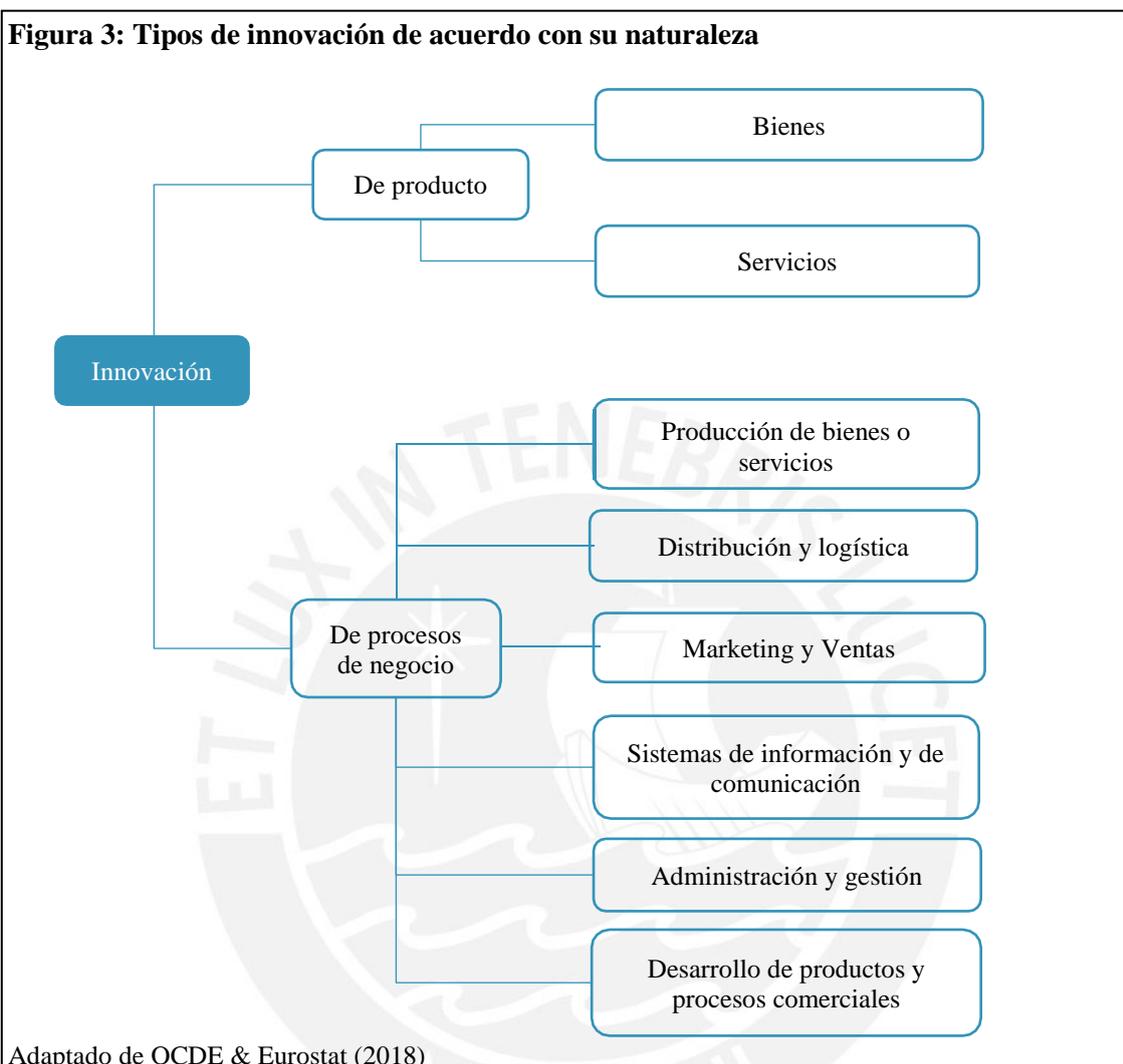
## **1.2. Tipos de innovación**

Existen dos tipos principales de innovación de acuerdo con su naturaleza: innovaciones de productos e innovaciones en los procesos de negocio, tal como se presenta en la Figura 3.

Con respecto a las innovaciones de producto, estas hacen referencia a un bien (objeto tangible) o servicio (objeto intangible) que presenta mejoras significativas en una o más características o que difiere significativamente de las especificaciones presentes en versiones anteriores, y que ha sido introducido en el mercado. Estas mejoras deben dirigirse hacia funcionalidad relevantes del producto tales como calidad, especificaciones técnicas,

confiabilidad, durabilidad, asequibilidad o facilidad de uso (OCDE & Eurostat, 2018). De esta manera, se diferencia de la competencia.

**Figura 3: Tipos de innovación de acuerdo con su naturaleza**



Adaptado de OCDE & Eurostat (2018)

Es importante señalar que, para generar innovaciones de productos, se puede hacer uso de conocimientos o tecnologías nuevas, o nuevos usos o combinaciones de ambas. Asimismo, la innovación de un bien o servicio debe estar disponible para los usuarios potenciales; no obstante, esto no requiere que la innovación genere ventas, ya que esto excluye a productos que no cumplen con la demanda establecida o donde las ventas requieren de un periodo de materialización más extenso. Además, esto también excluiría a los productos digitales que se ofrecen sin costo a los usuarios y cuyos ingresos provienen por otros métodos, tales como la publicidad o el uso de la información del usuario (OCDE & Eurostat, 2018).

Por otro lado, las innovaciones en los procesos de negocio hacen referencia a la introducción de nuevos procesos de negocio o la mejora significativa de los que la empresa ha mantenido anteriormente, lo que a su vez puede responder al alcance de objetivos relacionados

con la implementación de estrategias comerciales, reducción de costos, mejorar en la calidad de productos, condiciones de trabajo o cumplimiento de requerimientos regulatorios. Estas mejoras hacen posible aumentar la productividad de los factores incrementando la producción o reduciendo los costes, de la misma manera enfocarse en aspectos como la confiabilidad, accesibilidad y facilidad de uso para aquellos que participan del proceso (Comisión de las Comunidades Europeas, 1995; OCDE & Eurostat, 2018).

Los tipos de procesos de negocio de una empresa son seis, según Brown (2008): (1) Producción de bienes o servicios, (2) Distribución y logística, (3) Marketing y Ventas, (4) Sistemas de información y de comunicación, (5) Administración y gestión y (6) Desarrollo de productos y procesos comerciales. Cada uno de estos procesos y las actividades que forman parte de ellos son descritos en la Tabla 1.

**Tabla 1: Tipos de procesos de negocio**

Procesos de Negocio	Detalles y subcategorías
Producción de bienes y servicios	Actividades que transforman insumos en bienes o servicios, incluyendo ingeniería y análisis y certificación de actividades que brindan soporte a la producción
Distribución y logística	Transporte y servicio de entrega, almacenamiento y procesamiento de pedidos
Marketing y Ventas	métodos de marketing, estrategias y métodos de precios y actividades de venta y post venta
Sistemas de información y comunicación	Mantenimiento y previsión de información y sistemas de comunicación
Administración y gestión	Gestión estratégica y general del negocio, gobernanza corporativa, gestión de recursos humanos, gestión de relaciones con proveedores, clientes o alianzas, contabilidad, auditoría y otras actividades relacionadas a finanzas
Desarrollo de productos y procesos de negocio	Actividades para determinar el alcance, identificar, desarrollar o adaptar productos o procesos comerciales de una empresa.

Adaptado de Brown (2008) y OCDE & Eurostat (2018)

Además de la clasificación por su naturaleza, también se puede dividir a las innovaciones de acuerdo a su novedad. En primer lugar, se tiene la innovación para la empresa, que involucra la introducción de un nuevo producto, proceso, método de comercialización o método de organización que pueden haber sido aplicados ya por otras empresas, pero no para la empresa en cuestión. En segundo lugar, la innovación para el mercado se produce cuando una empresa es la primera en lanzar una innovación en el mercado en el que opera. Por último, la innovación para el mundo implica que la empresa en cuestión es la primera en lanzar esta innovación en todos los mercados y en todos los sectores, tanto a nivel nacional como internacional.

Finalmente, muchas innovaciones presentan características que corresponden a más de un tipo, a raíz de la complementariedad de estos.

### **1.3. Revoluciones industriales previas a la Cuarta Revolución Industrial**

La palabra “revolución” hace referencia a un cambio rápido y profundo (Diccionario de la lengua española, s/f). Cambios significativos en los sistemas económicos y las estructuras sociales, han sido producidos, a lo largo de la historia, cuando nuevas tecnologías y formas novedosas de percibir el mundo aparecieron (Schwab, 2016). Así, diversas innovaciones han dado lugar a cambios de paradigma que hoy, ex-post, se denominan “revoluciones industriales”.

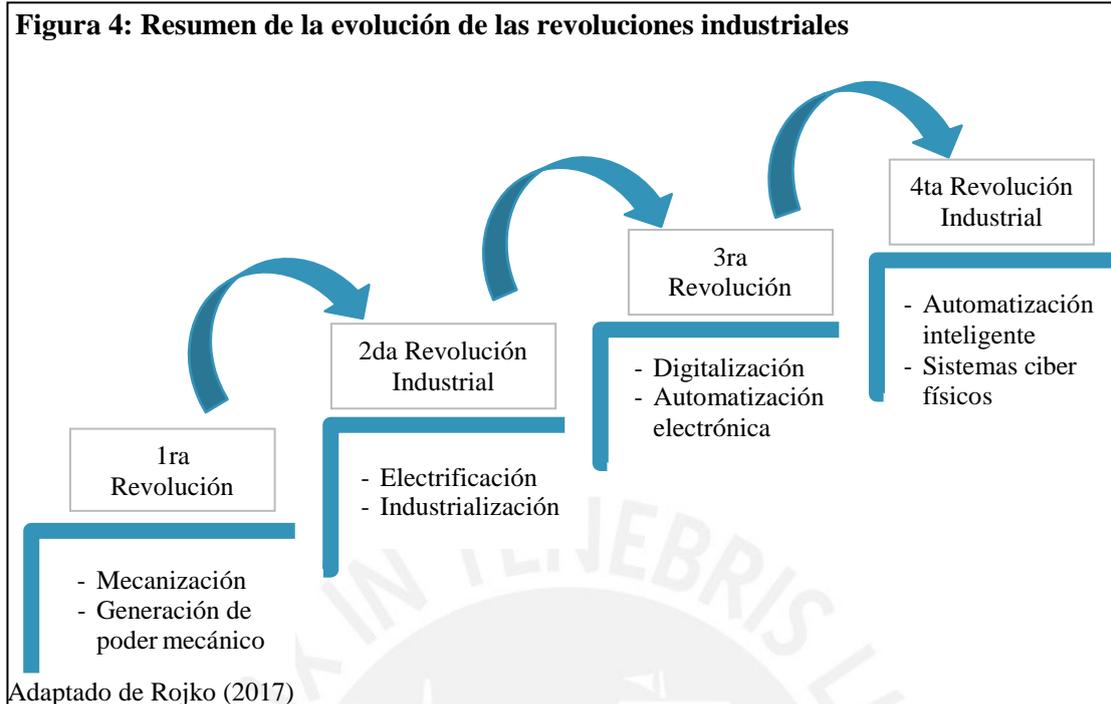
La primera revolución industrial abarcó aproximadamente desde los años 1760 hasta 1840. Fue desencadenada por la construcción del ferrocarril y la invención de las máquinas de vapor y uso de la hidroenergía, dando así comienzo a la mecanización y la generación de energía mecánica en el siglo XVIII. Con esto, hubo una transformación de una sociedad agrícola a una industrial (Gökalp et al., 2017). En esa misma línea, marcó la transición del trabajo manual a los primeros procesos de fabricación, que permitirían la manufactura de distintos bienes y productos, principalmente de la industria textil (Rojko, 2017; Schwab, 2016; Xu, Da, Xu & Li, 2018). En el aspecto social, causó un incremento de la migración hacia las grandes ciudades pues el trabajo se centralizó en las fábricas. Además, el consumo también cambió, ya que se produjeron cada vez más bienes no solo para las familias reales, sino también para una clase capitalista más amplia, aunque aún exclusiva (Daemmrlich, 2017). En este sentido, esta revolución significó el surgimiento de un enfoque completamente nuevo de la producción, rápido crecimiento de la productividad y niveles de vida, formación de grandes empresas y cambios en el trabajo y el consumo (Jensen, 1993).

Entre finales del siglo XIX y principios del XX, tras la aparición de la electrificación, surgió la Segunda revolución industrial, que permitió la industrialización, y distribución y producción en masa (Rojko, 2017; Schwab, 2016). Se originó predominantemente por cambios organizacionales como la implementación de la línea de montaje de Henry Ford y los procedimientos de gestión científica destacados por Frederic W. Taylor, mejor conocido como taylorismo (Gökalp et al., 2017). A propósito de Henry Ford, sobre el automóvil Ford T-Model, mencionó "Puedes tener cualquier color siempre que sea negro". Esta cita captura la introducción de la producción en masa a la época, pero sin la posibilidad de personalización de los productos, característica que se aborda más adelante (Rojko, 2017). Esta ola también fue marcada por el uso del acero, aparición del automóvil y, eventualmente, el petróleo; elementos que permitieron que el progreso traspase fronteras (Price Waterhouse Coopers Perú [PwC Perú], 2018). Bajo este nuevo paradigma, se sustituyeron las piezas hechas a mano por piezas intercambiables fabricadas por máquinas; y la energía del agua, animales y madera, por el carbón y otros (Jensen, 1993).

Para finalizar, la década de 1960 dio inicio a la tercera revolución industrial, o también conocida como la revolución digital o del ordenador, porque fue impulsada por el desarrollo de

los semiconductores, la computación mediante servidores tipo *mainframe* (en la década de 1970), la informática personal (décadas de 1970 y 1980) e internet (década de 1990) (Schwab, 2016). “Esta revolución se caracteriza por la implementación de tecnologías de la información y la comunicación para lograr una mayor automatización de los procesos de fabricación, a medida que las máquinas toman el control y reemplazan gradualmente una gran parte del trabajo” (Gökalp et al., 2017, p. 3). Con la introducción de estos elementos, la tecnología digital se extendió a múltiples dispositivos en fábricas, oficinas y hogares, con impactos de escala particularmente significativos para la fabricación automatizada, el almacenamiento y recuperación de datos. Un ejemplo de ello es que, en 1970, para el trabajo de oficina se hacía uso de máquinas de escribir eléctricas con capacidad limitada para cortar y pegar texto, y los cálculos en campos como la ingeniería o la contabilidad se hacían de manera manual y en calculadoras. En treinta años, esta situación cambió, pues todos los lugares de trabajo usaban computadoras conectadas a Internet, tenían acceso a grandes grupos de información a través de Internet (Daemmrich, 2017). Finalmente, esta introducción de los microprocesadores, automatización, internet y la masificación de comunicaciones que conllevó, crearon un espacio óptimo para la globalización (PwC Perú, 2018).

Es así como el papel de la innovación en la consolidación de las revoluciones industriales ha sido de suma importancia y lo seguirá siendo en el futuro. La siguiente ola de innovación hará referencia a los Sistemas Ciber físicos y será conducida por el Internet de las Cosas, de los Servicios y los datos, así pues, sujetos y objetos podrán, entre otras cosas, comunicarse en tiempo real (Kagermann, 2017). Esto transformará la producción de bienes y servicios, los procesos industriales y la fuerza laboral, pues la tecnología empezará a formar parte de la vida cotidiana, dando paso a lo que se conoce como Industria 4.0.



## 2. Industria 4.0

En esta sección, se realizará una revisión sobre las definiciones de Industria 4.0 propuestas por algunos autores, con la finalidad de elaborar una definición propia para la presente investigación; así como de su impacto en las organizaciones y sociedad. Adicionalmente, para la comprensión del concepto a mayor profundidad, se expondrán sus principales componentes y principios de diseño.

### 2.1. Definición

El término “Industria 4.0” fue utilizado por primera vez en el 2011 como parte de la estrategia de tecnología del gobierno federal alemán y, a la fecha, se ha convertido en un tema prioritario en centros de investigación, universidades y organizaciones (Hermann, Pentek & Otto, 2016). A pesar de ello, no existe una definición generalmente aceptada o un consenso sobre este (Ghobakhloo, 2018; Hermann et al., 2016). Por un lado, Schwab (2016) señala que es una “revolución que está cambiando de manera fundamental la forma de vivir, trabajar y relacionarnos unos con otros. En su escala, alcance y complejidad, la cuarta revolución industrial no se parece a nada que la humanidad haya experimentado antes” (p. 8). Así mismo, Deloitte (2017) indica que la Industria 4.0 hace referencia a la promesa de una nueva revolución industrial que combine técnicas avanzadas de producción y operaciones con tecnologías digitales inteligentes para la creación de empresas digitales que no solo estén interconectadas y que funcionen de manera autónoma, sino que también puedan analizar y utilizar información para la toma de decisiones. Esto representa la incorporación de la tecnología con las personas y organizaciones, que se

encuentra marcada por la aparición de la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, la manufactura aditiva y el internet de las cosas. Por su parte, Schumacher, Erol & Sihm (2016) señalan que la Industria 4.0 involucra una gran red de tecnologías avanzadas a lo largo de toda la cadena de valor, las cuales implican la introducción de una nueva era en el proceso de fabricación. Dentro de estas tecnologías destaca la automatización, la inteligencia artificial, el internet de las cosas y la fabricación aditiva, las cuales generan que los límites entre lo físico y la realidad virtual se vuelvan cada vez más borrosos, llevando a la aparición de un fenómeno conocido como *Cyber-Physical Production Systems*. De modo similar, Barreto, Amaral & Pereira (2017) definen a la Industria 4.0 como los recientes avances tecnológicos en los que el internet y las tecnologías de apoyo, tales como los sistemas integrados, sirven como base para la integración de objetos físicos, actores humanos, maquinaria inteligente, líneas de producción y procesos para formar un nuevo tipo de sistemas inteligentes. Este concepto abarca también el desarrollo y la integración de tecnologías de la información y comunicación en la industria, teniendo como objetivo principal fomentar la conexión inteligente de productos y procesos a lo largo de la cadena de valor, permitiendo así un uso más eficiente de los procesos organizacionales para la creación de bienes y servicios novedosos para los clientes.

Ahora bien, cabe señalar que la aplicación de la Industria 4.0 no se limita a la cadena de valor y/o proceso de producción, sino que tiene un alcance sobre todas las industrias, sectores y la sociedad en general. Al respecto, se destaca que “las tecnologías como la inteligencia artificial, la impresión 3D, la robótica y la biotecnología sobre prácticamente todas las industrias, desde la manufactura y el comercio hasta el entretenimiento y la salud” (Acker, 2017). De la misma forma, puede llegar a revolucionar los modelos de negocio, la experiencia del consumidor e incluso la fuerza laboral (Deloitte, 2017). Con respecto a los cambios en el modelo de negocio, las tecnologías asociadas a la Industria 4.0, tales como los sensores, *machine learning*, manufactura aditiva y robótica, tienen la capacidad de transformar la manera en que se diseñan y desarrollan los productos y servicios. En efecto, permiten realizar, por ejemplo, el proceso de prototipado y testeado de manera más rápida, facilitando así la implementación de mejoras; así como añadir conectividad a productos que anteriormente no contaban con esta funcionalidad, brindando una oferta innovadora a los clientes (Deloitte, 2017). En cuanto a la experiencia de los consumidores, bajo la Industria 4.0, esta se encuentra conducida por el uso de información, analítica y personalización. Esto favorece a una mejor interacción entre los usuarios y el producto o servicio, ofreciendo a la organización la posibilidad de encontrar *insights* para su posterior uso en la búsqueda de mantener la relación con los clientes y seguir ofertando productos y servicios pensados en sus consumidores (Deloitte, 2017). Por último, en cuanto a la fuerza laboral, ante la aparición de las nuevas tecnologías, los trabajadores seguirán siendo claves en las organizaciones;

sin embargo, dejarán de realizar actividades operativas, para ejercer un rol de observador y supervisor del flujo de datos e información. Ciertamente, se requerirá que las personas cuenten con capacidad para estructurar, resumir y, principalmente, interpretar la información proveniente de sensores y máquinas autónomas ( Rupp, Schneckenburger, Merkel, Börret & Harrison, 2021), con la finalidad de seguir manteniéndose competitivos en un entorno laboral.

Además de impactar sobre las empresas privadas, los cambios disruptivos traídos por la cuarta revolución industrial también impactan sobre el sector social y público. En relación al primero, se menciona que “una de las principales áreas de transformación ocurrirá en el sector social y que las organizaciones sin fines de lucro y las ONG están frente a una oportunidad sin precedentes para aprovechar las nuevas tecnologías para profundizar su impacto y cumplir sus importantes misiones” (Acker, 2017). Gracias a la conexión entre dispositivos, este tipo de organizaciones puede conectarse en tiempo real con sus distintos grupos de interés, tales como donantes, voluntarios, estudiantes, etc. Ello les permite responder a las necesidades de estos en un periodo de tiempo significativamente menor. Del mismo modo, la falta de recursos y financiación ya no será un limitante para las organizaciones sin fines de lucro, pues los avances tecnológicos permiten conectar a una mayor cantidad de personas sin la necesidad de utilizar mayores recursos. En adición, en el sector social, el uso de la inteligencia artificial podría conllevar a la creación de servicios o herramientas capaces de predecir los resultados futuros, a través del reconocimiento de patrones dentro de una comunidad o una causa específica (Acker, 2017).

Los gobiernos también se ven en la necesidad de reinventarse y adaptarse a la Industria 4.0. Schwab (2016) manifiesta que un “uso más intenso e innovador de las tecnologías de la red puede ayudar a las administraciones públicas a modernizar sus estructuras y funciones para mejorar el rendimiento general, desde fortalecer los procesos del ‘e-gobierno’ hasta fomentar una mayor transparencia, responsabilidad y compromiso entre el gobierno y sus ciudadanos” (p. 58). De tal modo, las entidades públicas necesitan responder ante la cuarta revolución industrial ya que, esta los ayudará a fomentar una economía flexible, basada en el conocimiento y las competencias. Las tecnologías relacionadas a la Industria 4.0 permitirán, por ejemplo, reducir los costos de los servicios sociales sin mermar su calidad, además posibilitarán adaptar el servicio al usuario, incrementar la transparencia, confianza y participación ciudadana (Llanes-Font, Salvador-Hernández, Suárez-Benítez & Solórzano-Benítez, 2020).

A partir de lo mencionado, se puede señalar que la Industria 4.0 es la cuarta revolución industrial que consiste en la incorporación de nuevas tecnologías tales como la automatización, la inteligencia artificial, el internet de las cosas y la fabricación aditiva, las cuales conllevan a una

nueva era en el proceso de fabricación y cambian la forma de vivir, trabajar y relacionarse unos con otros. Asimismo, revoluciona los modelos de negocio, la experiencia del consumidor e incluso la fuerza laboral, impactando sobre las organizaciones de todo tipo, sector o industria y a la sociedad en general. Propone también la incorporación de la tecnología con las personas y organizaciones, reduciendo así los límites entre lo físico y la realidad virtual y generando mayor eficiencia en los procesos organizacionales relacionados a la creación de bienes y servicios para los usuarios.

## 2.2. Principales componentes

Luego de haber definido a la Industria 4.0, con la finalidad de profundizar en el entendimiento de este concepto, es necesario hacer una revisión acerca de los principales componentes que posee. Para ello, se tomará como referencia el trabajo realizado por Hermann et al. (2016), quienes, tras un análisis de la literatura y frecuencia de ocurrencia, determinaron que los componentes principales de la Industria 4.0 son los siguientes: Sistemas Ciber-físicos, Internet de las Cosas, Internet de los Servicios y Fábrica inteligente.

Los **Sistemas Ciber-físicos**, o también llamados CPS por sus siglas en inglés *Cyber-Physical Systems*, son el fundamento principal de la Industria 4.0 (Xu et al., 2018). Representan una nueva generación de sistema digital, que consta de dos componentes principales: (1) la conectividad avanzada, que asegura la adquisición de datos en tiempo real del mundo físico y la retroalimentación de información del ciberespacio; y (2) la gestión inteligente de datos, capacidad analítica y computacional que construye el ciberespacio (Chen, 2017a). Es así como los sistemas ciber-físicos son la “fusión del mundo físico con el virtual o ciberespacio” (Kagermann, 2017, p. 235), es decir, consisten en la interconexión de tanto componentes físicos y cibernéticos, los cuales tienen la capacidad de conectarse y operar desde distintos espacios, momentos y escalas a través de sensores y actuadores (Chen, 2017b; Xu et al., 2018). Algunas aplicaciones de estos sistemas son las máquinas inteligentes, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción que tienen la capacidad de intercambiar información de forma autónoma, desencadenar acciones y controlarse entre sí de forma independiente. Esto implica grandes mejoras en los procesos industriales involucrados en la fabricación, la ingeniería, el uso de materiales, la cadena de suministro y la gestión del ciclo de vida (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013). No obstante, abarcan también otros campos, tales como la agricultura, la energía, la atención médica, la fabricación, el transporte y el medio ambiente inteligente (Chen, 2017b).

En esa misma línea, el **Internet de las Cosas**, *Internet of Things* o, simplemente, IoT se refiere la agrupación o interconexión de dispositivos y objetos a través del Internet, donde todos ellos son visibles y pueden interactuar entre sí, sin necesidad de la intervención humana (Deloitte,

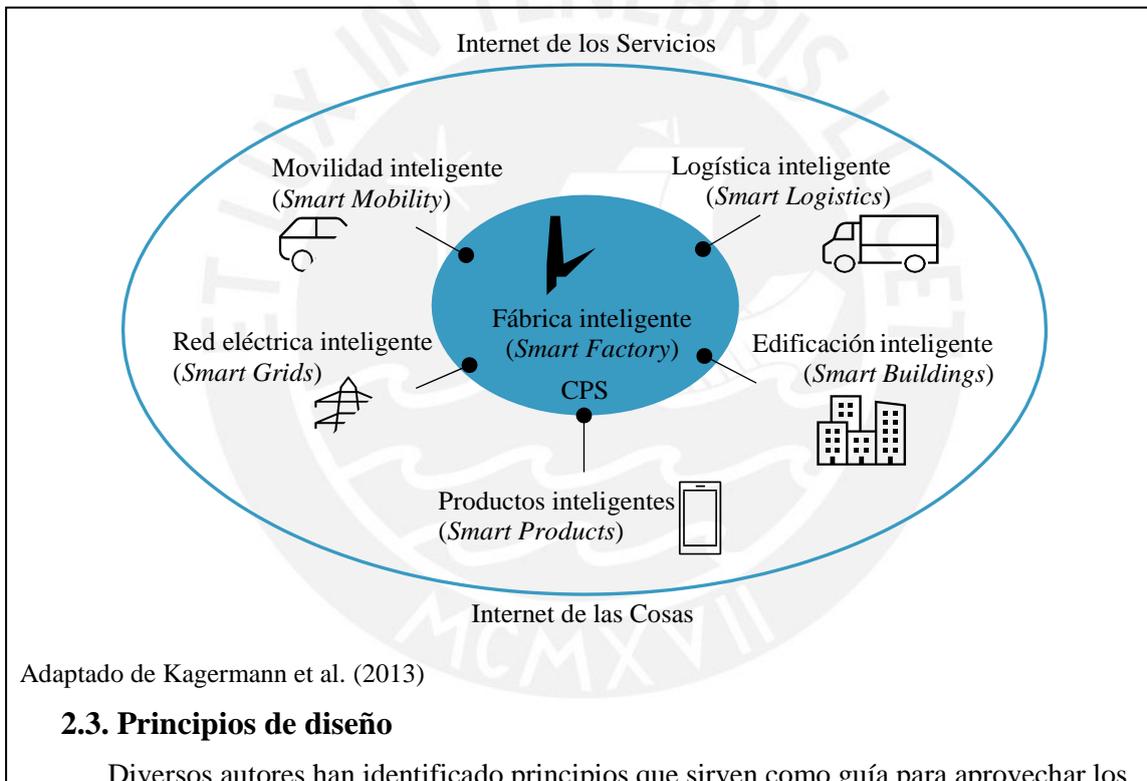
s/f). Respecto a los objetos o dispositivos, estos podrían ser de cualquier tipo desde sensores, dispositivos mecánicos, etiquetas de identificación de radiofrecuencia (RFID) y teléfonos móviles hasta objetos cotidianos como el frigorífico, el calzado o la ropa, siempre y cuando tengan la capacidad de conectar, comunicarse y cooperar en el logro de objetivos en común (Atzori, Iera & Morabito, 2010; Deloitte, s/f). Una muestra del IoT es el monitoreo remoto, en donde, al equipar con sensores o RFID a sus paquetes o contenedores, una empresa puede rastrear los movimientos de estos a lo largo de la cadena de suministro, así como su comportamiento, uso, etc. De igual forma, se genera valor para los clientes pues pueden hacer un seguimiento en tiempo real de sus productos (Schwab, 2016). Cabe señalar que la masificación del IoT tendrá como resultado la generación de numerosas cantidades de datos que deberán ser almacenados, analizados y presentados de manera eficiente y fácilmente interpretables (Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami, 2013).

Ahora bien, el internet no solo permite conectar “objetos” y “cosas”, sino también recursos, información, personas y sistemas, dando paso al Internet de las Cosas y los Servicios (Kagermann et al., 2013). El **Internet de los Servicios (IoS)** describe una infraestructura que utiliza el Internet como un medio para ofrecer y vender servicios, conectando ofertantes y demandantes de todo el mundo a través de la red (Buxmann, Hess & Ruggaber, 2009; Cardoso, Voigt & Winkler, 2009). Entonces, mientras que el Internet de las Cosas se relaciona con objetos tangibles, sensores y máquinas, el Internet de los Servicios cubre un conjunto más abstracto de funcionalidades, incorporando el concepto de Arquitectura Orientada a Servicios (SOA), el cual representa un conjunto de servicios que mejoran la capacidad de la empresa para llevar a cabo negocios con clientes y proveedores. En este sentido, el Internet de los Servicios puede ser visto como un nuevo modelo de negocio que originará cambios radicales en la manera en que los usuarios descubren y hacen uso de los servicios (Zonichenn & Franco, 2018).

Por último, “las **fábricas inteligentes** constituyen una característica clave de la Industria 4.0” (Kagermann et al., 2013, p. 19). En este nuevo tipo de organizaciones, las máquinas son conscientes de su entorno y utilizan información sobre este, como la posición o estado de otros objetos, para la realización de sus tareas (Lucke, Constantinescu & Westkämper, 2008). Más aún, existe una comunicación entre humanos, máquinas y recursos de manera natural (Kagermann et al., 2013). Las también conocidas como *smart factories* son capaces de manejar la complejidad, son menos propensas a la disrupción y pueden elaborar bienes de forma más eficiente. En efecto, cuentan con sistemas de fabricación integrados, los cuales están interconectados verticalmente con los procesos comerciales de la organización, y horizontalmente, a redes de valor que se pueden administrar en tiempo real, abarcando desde el momento en que se realiza un pedido hasta la logística de salida del mismo (Kagermann et al., 2013). Así, revolucionan la producción con la

introducción de los productos inteligentes (*smart products*), entre cuyas características principales se destaca que son únicamente identificables, pueden ser localizados en todo momento y conocen sobre su estado actual y rutas alternativas para el logro de sus objetivos. Del mismo modo, facilita la atención de requerimientos específicos de los clientes, permite cambios de último minuto y respuesta más flexibles ante imprevistos (Kagermann et al., 2013). Así se concluye que, las fábricas inteligentes serán el componente principal de las infraestructuras inteligentes del mañana, al trabajar de la mano con el *Smart mobility*, *Smart logistics*, *Smart grids*, entre otros (ver Figura 5), resultando en la transformación de las cadenas de valor tradicionales y la aparición de nuevos modelos de negocio (Kagermann et al., 2013).

**Figura 5: Relación entre las fábricas inteligentes, el Internet de las Cosas y los Servicios, y los CPS**



### 2.3. Principios de diseño

Diversos autores han identificado principios que sirven como guía para aprovechar los beneficios de las tecnologías de la Industria 4.0, entre ellos se destaca a la interoperabilidad, virtualización, capacidad en tiempo real, descentralización, orientación al servicio y modularidad, los cuales serán abordados en el presente apartado.

Como se ha venido comentando a lo largo del marco teórico, una de las características más importantes de la Industria 4.0 es la capacidad para comunicar objetos, máquinas y personas en una organización, intercambiar datos y coordinar actividades. A esto se le conoce como **interoperabilidad** (RMIT University, s/f), y es esencial para aprovechar los datos generados en miras del incremento de la eficiencia y mejora de procesos. La interoperabilidad no puede suceder

sin conectividad. Por ello, se hace uso del IoT y IoS para que todas las partes, o CPS, en las organizaciones se unan, brinden acceso recíproco a sus recursos, transmitan información del contexto; en general, que trabajen de manera conjunta (Hermann et al., 2016; Rejikumar et al., 2019). Es importante mencionar también que este “intercambio abierto de información entre sistemas ayuda a las empresas a reducir los costos de recopilación y gestión de información, reducir la duplicación innecesaria y aprovechar las aplicaciones de terceros cuando sea necesario.” (RMIT University, s/f).

La **virtualización** consiste en la creación de una copia virtual de toda la cadena de valor mediante la transformación de datos del entorno físico, adquiridos a través de sensores, en modelos virtuales o modelos creados mediante simulación (Ghobakhloo, 2018; Gilchrist, 2016; Hermann et al., 2016). Por consiguiente, se crea un “gemelo” digital que contiene información sobre el almacén, equipos y maquinaria, productos, etc., lo que permite que se puedan ejecutar escenarios ficticios que permitan personalizar, alterar, probar cambios y actualizaciones en los procesos virtualizados y equipos, sin afectar a los existentes. Esto se traduce en la mejora de los procesos, reducción del costo de desarrollo y modelado de producto, optimización en el rendimiento de la máquina y, por lo tanto, una reducción en el tiempo para obtener beneficios de nuevos productos y/o procesos, extender la vida útil de los activos físicos de la organización, descubrir ineficiencias operativas y reducir los costos de mantenimiento (Gilchrist, 2016; RMIT University, s/f). Asimismo, para las industrias, sectores u organizaciones que no se caracterizan por hacer uso de grandes equipos y máquinas, la virtualización también puede traer beneficios pues, su aplicación permite reducir los costos de hardware y la cantidad de recursos físicos necesarios (RMIT University, s/f)

La **capacidad en tiempo real** es esencial para la implementación de la Industria 4.0 pues involucra la recopilación de datos, el análisis de estos, la toma de decisiones de acuerdo con los nuevos hallazgos e incluso la detección de riesgos o errores en el momento (Ghobakhloo, 2018; Rejikumar et al., 2019). Esta capacidad se da gracias a los sensores y dispositivos conectados a Internet, los cuales permiten ver qué está sucediendo en el negocio e identificar las oportunidades de mejora. También permite analizar micro tendencias, responder de inmediato a fallas a lo largo de toda la cadena de suministro o tomar un enfoque proactivo ante anomalías o ineficiencias (RMIT University, s/f).

Ante la imposibilidad de mantener sistemas de control centralizados frente a la creciente demanda de productos y servicios con mayor grado de personalización y que se adapten constantemente a las necesidades de los clientes y usuarios, surge la **descentralización** (Hermann et al., 2016). Este principio permite que los diferentes sistemas dentro de la organización trabajen

y tomen decisiones de forma autónoma, sin perder la orientación hacia el logro de los objetivos organizacionales (Gilchrist, 2016). En el contexto de las fábricas inteligentes, la descentralización de la planta significa que las etiquetas RFID les indican a las máquinas cuales son las siguientes etapas de trabajo a desarrollar, por lo que una planificación central ya no es necesaria (Schlick, Stephan, Loskyll & Lappe, 2014, p. 75). De la misma manera, almacenar y transferir datos en la nube; la automatización de tareas manuales y repetitivas; el que, mediante la impresión 3D, las empresas tengan fábricas pequeñas y descentralizadas en diversas ubicaciones; y que, en educación, los cursos en línea permitan el aprendizaje autodirigido, son aplicaciones de la descentralización; dado que, se redistribuyen funciones o tareas lejos de una ubicación central (RMIT University, s/f).

Otro principio de la Industria 4.0 es la **orientación al servicio**. Bajo este paradigma, se produce un cambio de enfoque en las industrias, dejando de lado la producción en masa para enfocarse en la personalización de servicios y orientación al cliente. Es así como, se utiliza la información obtenida de los datos, IoS, IoT y CPS, para brindar servicios únicos a sus clientes, estimar tendencias en el mercado y anticipar cambios en las expectativas de los clientes o usuarios (Ghobakhloo, 2018). Además, con el uso de la tecnología, las organizaciones son capaces de identificar actividades repetitivas y no esenciales que puedan reducirse o eliminarse, así el personal pueda concentrarse en las funciones comerciales más importantes (RMIT University, s/f).

Finalmente, para que las organizaciones puedan alcanzar el nivel de adaptabilidad adecuado para satisfacer las necesidades cambiantes de los clientes y usuarios, se requiere que migren de la fabricación y planificación lineales, los sistemas rígidos y los modelos de producción inflexibles a una cadena de suministro ágil y procesos flexibles (Ghobakhloo, 2018). En esto se basa el principio de **modularidad**, el cual permite que las partes de un mismo producto puedan mejorarse, cambiarse o expandirse, con las menores alteraciones en el proceso de producción (Gilchrist, 2016; Rejikumar et al., 2019). De modo que, los sistemas modulares pueden ajustarse fácilmente en caso de fluctuaciones o cambios en las características de los productos (Hermann et al., 2016).

### **3 Modelos de madurez de la Industria 4.0**

El término madurez puede ser interpretado como estar completo o en perfectas condiciones de desarrollo (Nikkhou, Taghizadeh & Hajiyakhchali, 2016). De manera similar, Andersen y Jessen (2003) la definen como un estado en el que la organización se encuentra perfectamente capaz de lograr sus objetivos por sí misma. Según Mettler (2009), implica un progreso evolutivo en la demostración de una habilidad específica o en el logro de un objetivo

desde una etapa inicial hasta una etapa final deseada. Mientras que, para Curtis, Chrissis & Paulk (1993) es un proceso específico para definir, gestionar, medir y controlar explícitamente el crecimiento evolutivo de una entidad. En general, este término se refiere a estar en estado completo, perfecto o listo, e implica cierto progreso en el desarrollo de un sistema (Schumacher et al., 2016).

Los modelos de madurez se utilizan comúnmente como un instrumento para conceptualizar y medir la madurez de una organización o un proceso con respecto a algún estado objetivo específico. Asimismo, etiquetados como sinónimos, están los modelos de preparación, que tienen como objetivo identificar el punto de partida y permitir la inicialización del proceso de desarrollo. Se entiende la diferencia entre preparación y madurez en materia que la evaluación de la preparación es realizada antes de participar en el proceso de maduración, mientras que la evaluación de la madurez tiene como objetivo capturar el estado tal como está durante el proceso de maduración (Schumacher et al., 2016). Por ello, para la presente investigación, la definición de madurez para la Industria 4.0 se refiere al grado de preparación o implementación de los elementos de la Industria 4.0 en un momento específico, de acuerdo con una lista de elementos.

Ahora bien, tras la aparición de los conceptos e ideas de la Industria 4.0, se evidenció que muchas empresas y organizaciones en general, no tienen claro cómo responder ante estos cambios. Incluso, “no saben por dónde empezar para generar nuevas oportunidades de crecimiento o no saben cómo afrontar el desafío hacia la Industria 4.0 y cómo visualizar el paradigma de la Industria 4.0 en su situación específica” (Ganzarain & Errasti, 2016, p. 5). Dado que esta tendencia apareció en Europa, al tratar de ser implementada en el contexto latinoamericano, se presentan retos, siendo el reto principal definir una ruta a seguir para la transformación (De Carolis et al., 2017; Jacquez & López, 2018).

Teniendo esto en consideración, los modelos de madurez ayudan a las organizaciones ante las continuas presiones por obtener y retener una ventaja competitiva, identificación de formas de reducir costos, mejorar la calidad, reducción de tiempos, entre otros. Además, se utilizan como una base evaluativa y comparativa para la mejora (De Bruin, Freeze, Kulkarni & Rosemann, 2005; Schumacher et al., 2016). De esta forma, “la aplicación de modelos de madurez a la Industria 4.0 puede ayudar a las organizaciones a integrar esta metodología en su cultura” (Ganzarain & Errasti, 2016, p. 5) pues realizan una evaluación integral de la madurez de la organización, con la finalidad de tener una visión clara de su nivel actual de preparación digital. De hecho, una comprensión profunda del estado actual de la digitalización es un primer paso para una transformación exitosa. Una vez que las organizaciones tienen una perspectiva clara de su madurez digital, deben explorar el entorno corporativo en busca de oportunidades generadas por

las tecnologías digitales. A partir de las oportunidades identificadas, las empresas deben desarrollar una hoja de ruta para la transformación digital, que debe ser compartida y aceptada por todos los altos ejecutivos. Solo en este momento, las empresas comenzarían a invertir para continuar con su transformación digital (De Carolis et al., 2017). Es decir, los modelos de madurez de la Industria 4.0 permiten determinar el estado de desarrollo de una organización con respecto a la visión de la Industria 4.0, lo cual facilita el identificar áreas donde se pueden hacer cambios (Cimini, Pinto & Cavalieri, 2017) y servir como una “hoja de ruta” (Tonelli, Demartini, Loleo & Testa, 2016) para la generación e implementación de estrategias a seguir para una correcta adaptación a esta tendencia.

De acuerdo con la literatura, existen tres tipos de modelos según su propósito: descriptivo, prescriptivo y comparativo. Por un lado, los modelos de madurez con propósito descriptivo buscan evaluar la situación tal cual (*as-is*) de la organización o proceso. Por otro, aquellos de propósito prescriptivo hacen hincapié en las relaciones de dominio con el desempeño organizacional e indican cómo abordar la mejora de la madurez para afectar positivamente el valor comercial; es decir, permite el desarrollo de una hoja de ruta para la mejora. Por último, los modelos con propósito comparativo permiten realizar evaluaciones comparativas entre empresas, industrias o regiones. En particular, un modelo de esta naturaleza podría comparar prácticas similares entre organizaciones para comparar la madurez dentro de diferentes industrias (De Bruin et al., 2005; De Carolis et al., 2017). Es también importante señalar que, si bien estos tipos de modelos pueden verse como distintos, en realidad representan fases evolutivas del ciclo de vida de un modelo. Primero, un modelo es descriptivo para que se logre una comprensión más profunda de la situación del dominio tal como está. Luego, un modelo puede evolucionar para que sea prescriptivo, ya que solo mediante una sólida comprensión de la situación actual se pueden realizar mejoras sustanciales y repetibles. Finalmente, para que un modelo se utilice comparativamente, debe aplicarse en una amplia gama de organizaciones a fin de obtener datos suficientes que permitan una comparación válida (De Bruin et al., 2005).

### **3.1. Modelos de preparación y madurez más relevantes**

En el presente apartado, se exponen diversos modelos de madurez de la Industria 4.0, sus dimensiones y niveles. Posteriormente, se identifican las similitudes y diferencias entre ellos, con el fin de obtener un marco de referencia relevante para las organizaciones peruanas.

El primer modelo por exponer se encuentra enfocado en las organizaciones de la industria manufacturera, en donde la Industria 4.0 presenta un gran impacto. Este modelo, propuesto por Schumacher et al. (2016), ha sido desarrollado utilizando un enfoque multi metodológico que incluye una revisión sistemática de la literatura, modelos conceptuales, métodos cualitativos y

cuantitativos para la validación empírica; asimismo, tiene como objetivo ampliar el enfoque tecnológico dominante de otros modelos desarrollados mediante la inclusión de aspectos organizacionales.

Los autores plantean la evaluación de 62 elementos, los cuales se encuentran agrupados en nueve dimensiones: (1) Estrategia, que busca conocer sobre la existencia –o no– de una hoja de ruta para la implementación de la Industria 4.0 en la empresa, la disponibilidad de recursos para su realización, la adaptación del modelo de negocio, entre otros. (2) Liderazgo, aquí se pregunta sobre la voluntad de los líderes para incentivar o implementar la Industria 4.0, la existencia de una coordinación central para ello, y competencias y métodos de gestión. (3) Clientes, la se centra en aspectos como la recopilación y uso de datos, y la digitalización de las ventas y servicios. (4) Productos, esta hace referencia a conocer el estado de la individualización y digitalización de los productos en la empresa, así como la capacidad de integración de estos con otros sistemas. (5) Operaciones, que recoge información relacionada a la descentralización de los procesos, modelado y simulación, interdiscipliniedad, y colaboración interdepartamental. (6) Cultura, que engloba el intercambio de conocimiento al interior de la organización, innovación abierta y colaboración entre empresas, y el valor de las TIC en la empresa. (7) Personas, en donde se aborda las competencias tecnológicas de los empleados, la apertura de estos hacia nuevas tecnologías y la autonomía que poseen dentro de la empresa. (8) Gobernanza, que se centra en la normativa laboral para la Industria 4.0, la idoneidad de los estándares tecnológicos, la protección de la propiedad intelectual, entre otros. (9) Tecnología, enfocada en la existencia de tecnologías de la información y comunicación modernas, uso de dispositivos móviles, y uso de comunicación entre máquinas (*machine-to-machine*) (Schumacher et al., 2016) (ver Anexo A).

Estas dimensiones son evaluadas a través de un cuestionario estandarizado, el cual consiste en preguntas cerradas para cada elemento que deberán ser respondidas en base a una escala de Likert. A cada pregunta se le asignó una valoración distinta a partir de su relación más directa con la Industria 4.0, dando como resultado un puntaje que determinará el nivel de madurez en el que la empresa se encuentra. Los niveles están comprendidos entre el 1 y el 5, siendo el 1 el nivel más bajo de madurez, al encontrar una ausencia total acerca de los atributos que apoyan los conceptos de la Industria 4.0, mientras que el nivel 5 representa la presencia de todos los atributos del estado del arte (Schumacher et al., 2016).

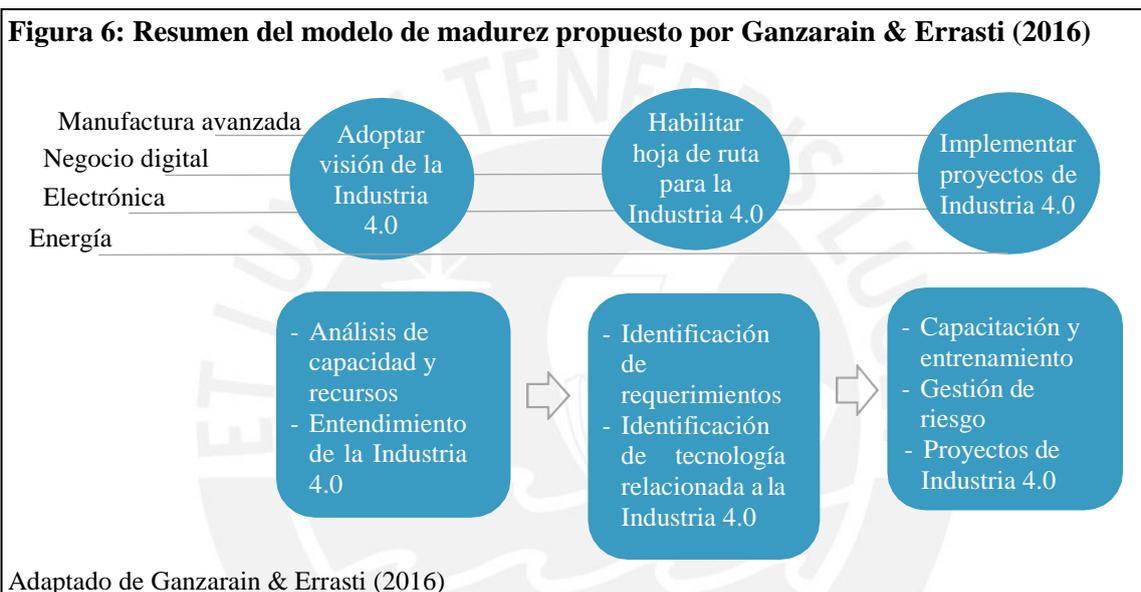
Por su parte, Gökalp et al. (2017) elaboraron un modelo de madurez orientado a proporcionar una guía completa e integral para permitir a las organizaciones de la industria manufacturera observar sus áreas problemáticas y debilidades, así como las prácticas para aplicar la transformación a la Industria 4.0 de manera consistente. Para ello, tras realizar una revisión

bibliográfica, analizaron siete modelos de madurez para el contexto de la Industria 4.0, en base a la idoneidad para el propósito, nivel de detalle de las dimensiones, atributos de medición, método de evaluación utilizado y su objetividad. A partir de esto, se concluyó que ninguno de ellos se desarrolla en base a un marco bien aceptado para la evaluación y mejora, y no tienen una estructura bien definida con prácticas, insumos y productos.

En este sentido, proponen un modelo conformado por las siguientes dimensiones: (1) Gestión de activos, la cual evalúa los sistemas de TI de la organización, la preparación tecnológica para la Industria 4.0, el uso de tecnologías de negocio emergentes y los aspectos de seguridad de tecnologías inteligentes. (2) Gobernanza de datos, dimensión que hace referencia al nivel de capacidad de las organizaciones para recolectar y analizar datos, usar herramientas de *big data* y servicios impulsados por datos. (3) Gestión de aplicaciones, en donde se pregunta sobre el diseño y funcionamiento de los sistemas de información que posee la empresa, así como sobre el flujo de información dentro de ella. (4) Transformación de procesos, la cual recoge información sobre la transformación de los procesos básicos de cada organización, tales como la planificación, adquisición, producción, ventas y distribución. La importancia de esta dimensión radica en que la transformación hacia la Industria 4.0 requiere de la digitalización de los procesos de la organización. (5) Alineamiento organizacional, que busca conocer sobre la estructura organizacional y estrategia del negocio, debido a que el conjunto de habilidades tecnológicas y otros requisitos esenciales relacionados a las personas están relacionados con la gestión organizacional (Gökalp et al., 2017).

Por otro lado, dado que la investigación busca elaborar un modelo aplicable a las organizaciones de todo el país, y considerando que las Mipymes constituyen el 99.5% de las empresas en el Perú (PRODUCE, s/f), es relevante también exponer el modelo de tres etapas para pequeñas y medianas empresas propuesto por Ganzarain y Errasti (2016). Este modelo busca guiar a las empresas en el proceso de búsqueda de su visión y estrategias u oportunidades de diversificación en el marco de la Industria 4.0. Por este motivo, los autores plantean tres etapas (Ver Figura 6). En primer lugar, proponen comenzar con la definición de una visión personalizada de la Industria 4.0, a través del desarrollo de una comprensión propia de las ideas generales de esta y el análisis de las capacidades y recursos con los que cuenta la empresa. En la segunda etapa, la empresa debe identificar el portafolio de tecnologías, así como también las capacidades necesarias para brindar soporte a estas nuevas soluciones a productos o servicios. Finalmente, se elabora una hoja de ruta de la Industria 4.0, la cual facilitará el proceso de planificación y alineamiento de estrategias, para dar paso a su implementación en proyectos.

En adición, el nivel de madurez en el que se encuentra una empresa, se determina en base los cinco niveles propuestos por los autores: (1) Inicial, que significa que no existe una visión de la Industria 4.0 en la organización; (2) Gestionado, es decir que la empresa cuenta con una hoja de ruta para llevar a cabo estrategias relacionadas a la Industria 4.0; (3) Definido, el cual indica que, además de contar con todo lo anterior, la empresa ha identificado su segmento de clientes, propuesta de valor y recursos claves; (4) Transformado, el cual denota la existencia de proyectos en concreto relacionados a la Industria 4.0; y (5) *Detailed BM* (modelo de negocio detallado), nivel en el que la empresa ya ha transformado su modelo de negocio, incluyendo a la Industria 4.0 dentro de este.



Otro modelo relevante es el “*Industry 4.0 Readiness*”, el cual es un cuestionario en línea que permite la autoevaluación del nivel de preparación para la Industria 4.0 elaborado por la *IMPULS Foundation* de la Federación de Ingeniería alemana (VDMA), conducida por el *IW Consultant* y el Instituto para la Gestión Industrial (FIR) de la universidad RWTH Aachen (ver Figura 7). Seis dimensiones son utilizadas para desarrollar el modelo, las cuales son las siguientes: (1) Estrategia y organización, en donde se evalúa el estado de implementación de la estrategia para la Industria 4.0, la operalización y resumen de la estrategia a través del uso de indicadores, inversión relacionada a la Industria 4.0, y uso de gestión de la tecnología e innovación; (2) Empresa inteligente, cuyos criterios involucran el modelado digital, infraestructura del equipo, uso de data y sistemas de tecnologías de información; (3) Operaciones inteligentes, que aborda el intercambio de información, uso de la nube, seguridad de tecnologías de información y procesos autónomos; (4) Productos inteligentes, establecida mediante la observación de funcionalidades complementarias de TIC de los productos y la medida en que se analizan los datos de la fase de uso, (5) Servicios orientados por datos, la cual se determina de acuerdo a la disponibilidad de

servicios orientados por datos, la participación de los ingresos derivados de los servicios basados en datos y proporción de datos utilizados; y (6) Trabajadores, que indica las habilidades de los empleados en diversas áreas y los esfuerzos de la empresa por adquirir nuevos conjuntos de habilidades (VDMA, IW Consultant, & RWTH Aachen University, 2015).



Además, los niveles del modelo se encuentran en el rango de 0 a 5, contando con 3 grupos que contienen 2, 1 y 3 subgrupos respectivamente. El nivel ‘principiante’ se divide en *outsider* y *novato*; el nivel ‘aprendices’ contiene a *intermedio*; y el nivel ‘líderes’ engloba a *experimentados*, *expertos* y *destacado*.

Finalmente, se tiene el modelo elaborado por la consultora *Price Waterhouse Coopers* (2016), el cual tiene como objetivo ayudar a las empresas a comprender el estado actual en su proceso de transformación digital y cuáles son los próximos pasos con respecto a su situación actual y a la industria en la que opera. Este modelo se encuentra conformado por las siguientes dimensiones: (1) Modelo de negocios, cartera de productos y servicios, dimensión que busca evaluar la combinación de productos y servicios en la cartera de la organización, las funciones o servicios digital que ofrecen a sus clientes y cuál es el nivel de digitalización de la ingeniería en la organización; (2) Acceso al mercado y al cliente, en la que se aborda los canales que son usados para el contacto con los clientes y los datos que se analizan actualmente para entenderlos; (3) Cadena de valor y procesos, cuyas preguntas giran en torno a conocer cómo se gestiona la cadena de suministro y como se planifica la fabricación; (4) Arquitectura de TI, la cual recoge

información sobre como los procesos son apoyados con las tecnologías digitales, cuáles son las capacidades técnicas existentes en la organización y como apoya la infraestructura de TI en los servicios digitales; (5) Cumplimiento normativo, riesgo, seguridad e impuestos, en la que se indaga sobre cómo se abordan los riesgos legales, aprovechamiento de oportunidades fiscales y como se garantiza la seguridad cibernética; y (6) Organización y cultura, donde se profundiza acerca de la capacidad de la organización para cambiar y las capacidades relacionadas con la Industria 4.0 que están disponibles dentro de la organización.

Adicionalmente, el nivel de madurez en cada una de las dimensiones y de la organización en general es calculado entre los puntajes obtenidos en las preguntas realizadas, los cuales varían del 1 al 4. Los niveles propuestos para este modelo son: (1) Novato digital, el cual hace referencia a las organizaciones que acaban de comenzar la digitalización de su modelo de negocio y de sus operaciones; (2) Integrador vertical, nivel en el que se ubica a las organizaciones que ya agregaron características digitales a sus productos y servicios; (3) Colaborador horizontal, nivel en el que la organización ya logró un nivel de integración vertical aceptable y actualmente se enfoca en la colaboración e integración con socios, clientes y proveedores; y (4) Campeón digital, nivel en el que se clasifica a las organizaciones que ya han implementado la integración vertical y horizontal hacia un grado aceptable para su negocio y cuyo objetivo actual es desarrollar nuevos modelos de negocio y un portafolio de productos y servicios innovadores para atender las necesidades de sus clientes.

A partir de los modelos revisados, se puede encontrar los siguiente. En cuanto a similitudes, se puede identificar que la mayoría de ellos cuentan con cinco niveles en los que clasifican a las organizaciones que evalúan. Asimismo, se abordan aspectos en común en sus dimensiones, tales como personas, estrategia, procesos y datos. Por otro lado, se pueden ver modelos que están enfocados en una industria en particular, mientras que otros buscan abordar a todo tipo de organizaciones y brindarles el estado actual en el que se encuentran en su proceso de transformación digital.

En suma, las empresas cada vez se están digitalizando más e integran la tecnología en sus procesos internos, cadena de valor, funciones, entre otros. Esto responde a la cuarta revolución industrial por la que se está pasando, o también llamada Industria 4.0, en donde se reducen los límites entre lo físico y la realidad virtual para generar mayor eficiencia. Dada la novedad del concepto y la importancia de este, existen los modelos de madurez, los cuales permiten evaluar el estado de desarrollo de las empresas con respecto a la visión de la Industria 4.0 y servir como una hoja de ruta para la creación de estrategias. Por ello, el marco teórico elaborado para la presente investigación está enfocado en examinar los modelos de madurez de la Industria 4.0 más

relevantes, para la posterior elaboración de un modelo de madurez adaptado a la realidad de las organizaciones peruanas.

#### **4 Investigaciones empíricas sobre la Industria 4.0 y elaboración de modelos de madurez en Latinoamérica**

Después de realizar un análisis a los principales enfoques teóricos que componen esta investigación, se hará una revisión de los estudios empíricos afines, para lo cual se identificará su objetivo principal, enfoques teóricos realizados, metodología y principales hallazgos.

Sobre los estudios sobre Industria 4.0 realizados en el contexto latinoamericano, se tiene la investigación “Aplicación de la Industria 4.0 en Pymes del sector textil-confecciones” desarrollado por Briones, Medina & Marinelli (2020), cuyo objetivo principal es identificar la ruta estratégica a seguir por Confecciones Polcyr S.R.L, una mediana empresa del sector Textil - Confecciones, para iniciar su proceso de implementación de la Industria 4.0. Con esta finalidad, la investigación se realizó mediante el estudio de caso múltiple de dos empresas peruanas del sector Textil - Confecciones: Confecciones Polcyr y Textil del Valle S.A. Los autores realizaron la evaluación de estas empresas con el modelo planteado por Lichtblau, Stich, Bertenrath, Blum, Bleider & Millack (2015), abordado en el marco teórico de la presente investigación como “*Industry 4.0 Readiness*” de la Fundación IMPULS, obteniéndose como resultado que la empresa Confecciones Polcyr S.R.L, obtuvo 0 como resultado general ponderado, ubicándose en el nivel de 0 de preparación hacia la Industria 4.0 y siendo caracterizada como “*outsider*”; mientras que la empresa Textil del Valle S.A. obtuvo un ponderado general de 1637, lo cual la coloca en el nivel 2 de preparación hacia la Industria 4.0, ubicándose en un nivel 2 y siendo caracterizada como “intermedio”. Se destaca que se aplicó el cuestionario online que ofrece IMPULS, a partir del cual se determinó el nivel de preparación de las empresas.

En adición, se tiene la tesis “Propuesta de implementación de la Industria 4.0 en el sector manufacturero en Bogotá”, elaborada por Pacheco (2020). La investigación cuenta con cuatro etapas: revisión de la literatura, análisis del sector de manufactura con respecto a la industria 4.0 en la ciudad a evaluar y realización de un *roadmap*. Para el análisis se utilizó una encuesta, cuyo objetivo era comprender el estado actual el sector económico mencionado y la manera en que las empresas que lo conforman implementan las tecnologías de la Industria 4.0 en sus procesos. Como resultado se obtuvo que, a pesar de que el término Industria 4.0 se conoce de forma general, se cuenta con escaso entendimiento sobre las tecnologías que esta involucra y, por ende, se ignora sobre los efectos positivos que brinda. Sumado a ello, se logró determinar que la mayor parte de las empresas participantes de la investigación fueron Pymes, cuyas principales dificultades involucraban los escasos recursos económicos y desconocimiento sobre nuevas tecnologías por parte de los trabajadores. A partir de la información recogida, la autora planteó una hoja de ruta

a seguir para la implementación de la Industria 4.0, enfocada en la reestructuración de la estrategia y operaciones, desarrollo de procesos inteligentes, comunicación interna continua y sus respectivos indicadores para determinar el cumplimiento (Pacheco, 2020).

Por otra parte, Alanya y Panduro (2020) realizaron el estudio “Industria 4.0 en Mypes de Lima Centro”, el cual tuvo como objetivo principal el presentar el grado en el que la Mype ha adoptado los principios de la Mype 4.0, así como la implementación de acciones de innovación en el distrito de Cercado de Lima. Para la realización de esta investigación se realizaron cuestionarios, los cuales fueron aplicados a 385 directores de Mypes, tomando como director a aquella persona que toma la mayoría de las decisiones dentro de la organización. Las variables utilizadas en el cuestionario son las siguientes: (1) Innovación dirigida al mercado, que hace referencia a la implementación de un nuevo método de comercialización, cambios significativos en un producto, etc.; (2) Innovación en los procesos, que busca indagar acerca de la implementación de un método de producción o de entrega nuevo o con mejoras significativas; (3) Innovación de los bienes o servicios, la cual evalúa la introducción de un bien o servicio nuevo o significativamente mejorado; (4) Innovación en recursos humanos, que engloba los cambios o mejoras en los métodos organizacionales, asociados a la implementación de prácticas de la empresa con los empleados; y (5) Mype 4.0, que se refiere a la tecnología con la que la organización cuenta.

Además, esta investigación forma parte de la investigación anual de la Red de Estudios Latinoamericanos en Administración y Negocios (RELAYN), en la que participaron 103 poblaciones en México, Colombia, Perú y Ecuador, por lo que los resultados obtenidos para la muestra en Perú fueron comparados con las demás poblaciones que fueron participes del estudio. Dentro de los principales resultados de este estudio se puede destacar que las Mypes de Lima Centro se encuentran por encima de las demás organizaciones participantes en las categorías de Innovación en recursos humanos y Sofisticación Mype, mientras que, en las categorías de Innovación de mercado, Innovación de procesos e innovación de bienes y servicios resultaron rezagadas.

Ahora bien, también se encontraron investigaciones que postulan, al igual que la presente tesis, la creación de un modelo de diagnóstico de madurez. Al respecto, se presenta la tesis elaborada por Córdoba y Rondón (2019), la cual tiene como objetivo proponer una herramienta diagnóstica del estado de la implementación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en el sector textil manufacturero en el Valle de Aburrá, Colombia. Es así que, el modelo propuesto consta de las siguientes dimensiones de evaluación: (1) Estrategia y modelo de negocio, criterio en el que se evalúan las variables de mercado, inversiones, innovación y sostenibilidad; (2) Organización

y personas, dimensión que engloba las habilidades y cualificaciones, modelo de relación y formación digital; (3) Procesos, en la que se analiza la digitalización, la integración y la automatización ; (4) Infraestructura, dimensión en la que se evalúan infraestructuras digitales, soluciones de control y negocio y plataformas colaborativas; y finalmente, (5) Productos y servicios, que abarca las subdimensiones de componentes y funciones digitales, productos y servicios interconectados y recopilación, uso y análisis de datos.

Dichas dimensiones son el resultado del análisis de diferentes modelos de madurez hacia la Industria 4.0, pero se encuentra basado principalmente en el modelo HADA (Herramienta de Auto diagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital) elaborado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de Colombia y que tiene como finalidad ayudar a las empresas en la búsqueda de la Industria 4.0. Asimismo, en cada variable se estudian componentes diferentes, los cuales fueron determinados en base a la revisión de la literatura y la opinión de expertos. Por último, dentro de los principales hallazgos de la investigación se puede destacar que el sector textil manufacturero del Valle de Aburrá tiene un nivel medio en la apropiación de tecnologías 4.0.

Finalmente, Haro (2019) propone el diseño de un modelo de madurez digital para empresas de manufactura ecuatorianas, tomando como referencia el trabajo realizado por Vivares (2017) “Modelo de madurez para valorar el sistema de producción y formular una estrategia de manufactura”. Los niveles considerados por la autora fueron cinco: Preinfantil, infantil, explorador, adulto y líder. Por otra parte, los aspectos a evaluar se dividen en prioridades competitivas, palancas de fabricación y estrategias de manufactura y, para la selección de sus elementos, se consideró a aquellos que mejor describan a estos en el ámbito de la Industria 4.0. En consecuencia, se obtuvo que, en el primer aspecto, se evalúa la trazabilidad del producto a lo largo de la cadena de producción, la modelación y simulación del sistema de manufactura, la existencia de una plataforma de recopilación y análisis de datos, la implementación de nuevas tecnologías para el desarrollo o rediseño de productos, entre otros. En cuanto al segundo aspecto, este aborda el conocimiento del personal con relación a la digitalización y la Industria 4.0, almacenamiento en la nube, y comunicación entre máquinas, personas y productos. Con respecto al último aspecto, aquí se consulta sobre el conocimiento e inversión en un plan de mejora continua en cuanto a la digitalización. Estos elementos se incluyeron en un cuestionario, el cual fue respondido por diez empresas manufactureras, resultando que, en base a la prueba piloto realizada, el nivel de madurez digital de las empresas de manufactura ecuatorianas se encuentra en un nivel infantil, lo que implica que la mayoría de ellas tiene varias debilidades en cuanto implementación tecnológica y un bajo desempeño en los aspectos principales evaluados (Haro, 2019).

Estos estudios empíricos son de gran utilidad para la presente investigación puesto que, en primer lugar, los tres primeros abarcan la aplicación de la Industria 4.0 en el Perú y elaboración de hojas de ruta para su implementación. Por otro lado, las investigaciones restantes elaboran modelos de madurez para la Industria 4.0 usando como base modelos existentes. No obstante, estos se encuentran enfocados en la industria manufacturera, es así como el modelo a desarrollar en la presente investigación busca incorporar elementos que permitan su aplicabilidad a otras industrias también.



## CAPÍTULO 3: MARCO CONTEXTUAL

El presente capítulo se encuentra compuesto por tres partes que permitirán contextualizar el nivel de desarrollo y adopción de la Industria 4.0 en el Perú. Para ello, la primera parte expone la posición actual del país en los principales indicadores relacionados a la Industria 4.0. La segunda, presenta algunos lineamientos e instituciones impulsadoras de la Ciencia, Tecnología e Innovación en el Perú. Finalmente, el último apartado de este capítulo explica los avances hacia la Industria 4.0 en los principales sectores productivos y sociales del Perú.

### 1. Situación del Perú con respecto a la Industria 4.0

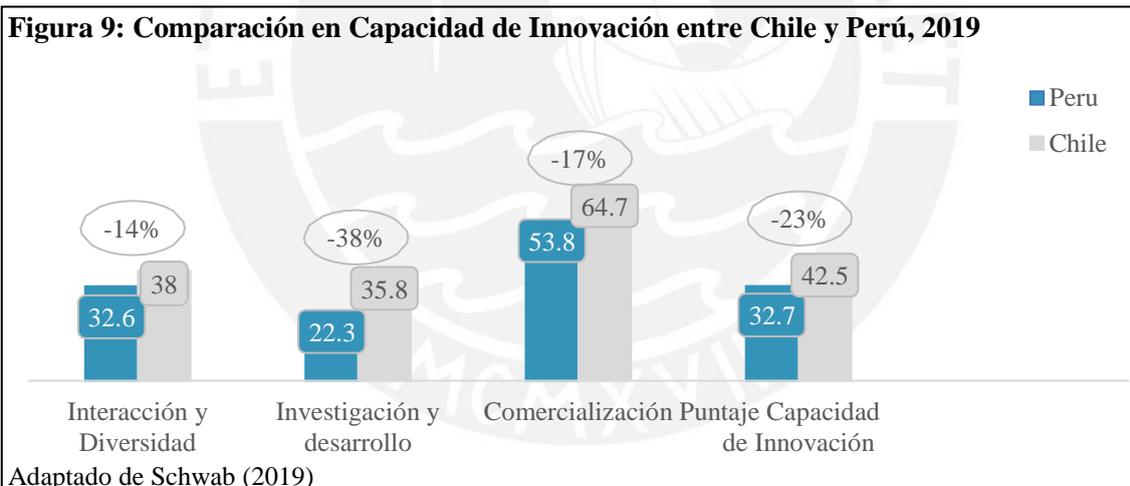
En este apartado, se presenta el avance del Perú con respecto a la adopción de las tecnologías asociadas a la Industria 4.0, a través de su posición en los principales indicadores sobre innovación, y adopción y exploración de las tecnologías de la información y digitales.

Uno de los indicadores de mayor importancia en la evaluación del avance de un país con respecto a la Industria 4.0, es el *Global Competitiveness Index 4.0*. Este índice proporciona información acerca de diversos factores y atributos que dirigen la productividad, crecimiento y desarrollo humano de un país, en el entorno de la Cuarta Revolución Industrial, evaluando aspectos como la adopción de TICs, capacidad de innovación, estabilidad macroeconómica, entre otros (Schwab, 2019).

Con respecto a los resultados de esta evaluación, para el caso de Latinoamérica se presenta a Chile como el primer lugar en la región (33), seguido por México (48) y Uruguay (54). Por su parte, Perú se encuentra en el puesto 65 a nivel global, lo que indica un descenso de dos posiciones con respecto a los resultados obtenidos para el año anterior. En este sentido, con la finalidad de evaluar la competitividad de Perú a nivel Latinoamérica, se procederá a comparar los resultados obtenidos para los doce pilares del *Global Competitiveness Index 4.0* para el año 2019, con respecto a los resultados de Chile (ver Figura 8).

En primer lugar, se puede observar que el Perú se encuentra rezagado en todos los pilares a excepción de la Estabilidad Macroeconómica y Salud. Ahora bien, aquellos con mayor relevancia para la Industria 4.0 son los pilares adopción de TICs y capacidad de innovación. Con respecto al primero, Chile presenta una ventaja de 17.4 puntos; mientras que, en el segundo, este país obtiene 9.8 puntos por encima de Perú (ver Figura 9). Sobre la capacidad de innovación, esta se encuentra compuesta por el nivel de interacción y diversidad, investigación y desarrollo, y comercialización, presentes en el país, siendo importante destacar que, el Perú se encuentra en la posición 98 del *ránking* global, ubicándose por debajo del promedio de Latinoamérica y el Caribe. Además, tiene un puntaje de 22.3 en la subcategoría de investigación y desarrollo. Por lo que se

puede inferir que el país presenta una baja cantidad de aplicaciones para patentes, inversión en investigación y desarrollo y las publicaciones científicas.



Entonces, según el análisis de los resultados del *Global Competitiveness Index 4.0*, se puede concluir que el Perú se encuentra rezagado en los pilares evaluados, sobre todo en los relacionados a la tecnología (adopción de TICs y capacidad de innovación).

Por otro lado, otro indicador relevante para comprender la situación actual del Perú con respecto a la adopción de la Industria 4.0 es el *Network Readiness Index (NRI)*, pues este evalúa cómo los países aprovechan y hacen uso de las tecnologías de la información para estar preparados para el futuro y el uso de nuevas tecnologías (NRI, 2020). El NRI evalúa el desempeño de los países basándose en 60 variables, las cuales se encuentran agrupadas en los siguientes pilares: impacto, personas, gobernanza y tecnología (Dutta & Lanvin, 2020).

En primer lugar, el pilar de impacto valora el impacto económico, social y humano de la participación del país en la economía de la red. Esta evaluación se hace en tres niveles, los cuales son a nivel económico, calidad de vida y la contribución al cumplimiento de los ODS. En segundo lugar, el pilar de personas sostiene que la tecnología y la disponibilidad de esta solamente es relevante si su población y las organizaciones cuentan con las habilidades y recursos necesarios para utilizarla de manera productiva. Este nivel se subdivide en tres niveles de análisis: individuos, empresas y gobiernos. En tercer lugar, el pilar de gobernanza busca evaluar la confianza de los individuos en cuanto a percepciones de seguridad y privacidad en su país, el grado en el que el gobierno promueve la participación en la economía de la red a través de la regulación, y cómo se abordan las cuestiones de desigualdad de género y discapacidades. Finalmente, el pilar de tecnología, el cual es el más relevante para la presente investigación, busca evaluar el nivel que mantiene un país con respecto al uso de tecnología, ya que esta es una condición indispensable para la participación de un país en una economía globalizada. Asimismo, este ámbito se encuentra compuesto por las siguientes 3 categorías: acceso, contenido y tecnologías futuras. La primera de ellas aborda a cuestiones de infraestructura de las comunicaciones y la posibilidad de hacer uso de ellas. Por otro lado, la subcategoría de contenido se refiere al tipo de tecnología digital que es producida en cada país y a la tecnología que se puede implementar localmente. Por último, la subcategoría de nuevas tendencias tecnológicas busca determinar qué tan preparados están los países para el futuro de la economía de la red y las nuevas tendencias tecnológicas como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas, las cuales son manifestaciones del surgimiento de la Industria 4.0 (Dutta & Lanvin, 2020).

Ahora bien, con respecto a los resultados del NRI, a nivel global, el Perú se encuentra en la posición 80 sobre las 144 economías evaluadas, siendo sus puntos más débiles las categorías de personas (44.79 puntos) y tecnología (31.44 puntos). Asimismo, con respecto a los países pertenecientes a América, Perú se ubica en la posición 13, colocándose debajo de países como Uruguay, Chile, México y Colombia. Por otro lado, con respecto a los resultados para el pilar de tecnología, a nivel global, el Perú ocupa el puesto 90. Y, con respecto a América, está en la posición 14, quedando por debajo de países como República Dominicana, Trinidad y Tobago y Colombia. Es así que, luego del análisis de los resultados del NRI, se puede destacar que el Perú presenta un rezago con respecto a los demás países de la región, especialmente en la categoría de tecnología (Dutta & Lanvin, 2020).

En esta misma línea, también es importante analizar los resultados del *IMD World Digital Competitiveness Ranking (WDCR) 2020*. Este reporte tiene como finalidad la medición de la capacidad y preparación de 63 economías para la adopción y exploración de las tecnologías digitales, como un factor clave para la transformación económica en los negocios, gobierno y la

sociedad en general. Para este fin, el WDCR se encuentra compuesto por los siguientes tres factores: conocimiento, tecnología y preparación para el futuro.

En primer lugar, el factor conocimiento se refiere al *know – how* necesario que debe tener un país para descubrir, entender y construir nuevas tecnologías. Es así como, este factor se encuentra compuesto por los sub-factores: talento, entrenamiento y educación, y concentración científica. En segundo lugar, el factor de tecnología hace referencia al contexto general que facilita el desarrollo de nuevas tecnologías digitales en un país. A su vez, este factor se subdivide en los siguientes sub-factores: marco regulatorio, capital y marco tecnológico. Por último, el factor preparación para el futuro hace referencia al nivel de preparación de un país para explotar la transformación digital. Asimismo, este factor se encuentra compuesto por los sub-factores: actitudes adaptativas, agilidad empresarial e integración de las tecnologías de la información (IMD World Competitiveness Center, 2020).

Con respecto a los resultados del WDCR, para el 2019 el Perú se encontraba en la posición 61 dentro de las 63 economías evaluadas en el estudio, mientras que para el 2020 se observa un ascenso de 6 posiciones, colocándose así en el puesto 56. Sin embargo, este ascenso no se debió a un incremento en los resultados de las categorías evaluadas, ya que estos han decrecido con respecto al año anterior, por lo que se deduce que otros países han presentado un mayor decrecimiento en sus indicadores, ocasionando un descenso en cuanto a posiciones y permitiéndole al Perú ascender en el *ránking*. Es así como, el Perú pasa a estar mejor posicionado que países como Argentina (puesto 59), Colombia (puesto 61) y Venezuela (puesto 62). Sin embargo, a pesar de esta mejora en cuanto a posiciones, este aún se encuentra rezagado a comparación de otros países de la región, tales como México (puesto 54), Brasil (puesto 51) y Chile (puesto 41).

En suma, en la medida que los índices expuestos evalúan aspectos como la preparación tecnológica, adopción de TICs, innovación y nivel de investigación y desarrollo, se puede llegar a la conclusión que el Perú aún se encuentra rezagado en cuanto a la preparación e implementación de tecnologías relacionadas a la Industria 4.0, lo cual se refleja en los bajos puntajes obtenidos.

## **2 Lineamientos e instituciones impulsores de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) en el Perú**

En los últimos años, esfuerzos desde el sector público, privado y la cooperación internacional han sido realizados con la finalidad de mejorar y contribuir al desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en el Perú. Algunos de ellos son expuestos a continuación.

### **2.1. Lineamientos**

En cuanto a lineamientos claves que guían las acciones en relación a la CTI en el Perú, en primer lugar, se tiene el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la competitividad y el desarrollo humano 2006 – 2021, el cual enfoca “sus esfuerzos para atender las demandas tecnológicas en áreas estratégicas prioritarias del país, con la finalidad de elevar el valor agregado y la competitividad, mejorar la calidad de vida de la población y contribuir con el manejo responsable del medio ambiente” (CONCYTEC, 2006, p. 58). Para conseguir esto, el plan consta de objetivos enfocados en la promoción de innovaciones e investigaciones tecnológicas y científicas, el fortalecimiento de capacidades en CTI, y la cooperación entre instituciones relacionadas a este campo (CONCYTEC, 2006). Este Plan apunta a brindar soporte a los programas de CTI enfocados en la atención de requerimientos de actividades productivas y de servicios en los que las regiones y el país en general puedan aprovechar de manera óptima sus ventajas comparativas, así como lograr mayor competitividad y liderazgo, tanto dentro del país, como en los mercados externos.

Asimismo, el desarrollo de la innovación y tecnología es impulsado por la Política Nacional de Competitividad y Productividad (PNCP) 2019 – 2030, a cargo del Consejo Nacional de Competitividad y Formalización del Ministerio de Economía y Finanzas. Esta destaca que “hoy en día una política relacionada a la innovación empresarial no puede dejar de lado la transformación digital, desde la oferta de tecnologías digitales hasta las capacidades en las empresas para incorporarlas” (Política Nacional de Competitividad y Productividad [PNCP], 2018, p. 38). Por ello, busca establecer la ruta que el Perú requiere seguir para lograr un crecimiento económico en el mediano y largo plazo, que permitiría brindar mejores servicios públicos enfocados en la reducción de la pobreza e incremento de los ingresos y bienestar de los peruanos (Consejo Nacional de Competitividad y Formalización [CNCF], 2018). Para lograrlo, se proponen diversos objetivos prioritarios, de los cuales el de mayor relevancia para la investigación es el objetivo 03: Generar el desarrollo de capacidades para la innovación, adopción y transferencias de mejoras tecnológicas. Este objetivo propone la creación de mecanismos que aumenten el nivel de la investigación científica y el desarrollo tecnológico, así como la transferencia tecnológica para la reducción de brechas productivas. De la misma forma, busca asegurar el respeto por la propiedad intelectual (CNCF, 2018). Además, dentro de los lineamientos que propone seguir se encuentran acciones relacionadas con el fortalecimiento del entorno del ecosistema de innovación, a través de mejoras normativas; el aseguramiento de la disponibilidad de capital humano especializado en innovación, el incremento de la eficacia de la inversión pública y privada en innovación; el aceleramiento de los procesos de innovación, absorción tecnológica y digitalización del país; y la creación y fortalecimiento de mecanismos

que eleven el nivel de la investigación científica y el desarrollo tecnológico de las universidades (PNCP, 2018)

Por último, la Agenda Digital al Bicentenario, propuesta en enero de 2020, guio las estrategias, metas y acciones concretas del Perú en material digital, a fin de desplegar tecnologías para promover la competitividad, el desarrollo económico y social, y la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. Para ello, sus habilitadores incluyeron la interoperabilidad, identidad digital, arquitectura digital, servicios digitales, seguridad digital y gobierno de datos. El objetivo de esta agenda consistía en realizar una transformación digital que permita al Perú llegar al 2021 como un país transparente, competitivo, innovador y que pueda hacer viable la mejora social. Algunos avances sobre esto incluyeron 234 servicios públicos basados en la Plataforma de Interoperabilidad del Estado (a mayo de 2020), el diseño del Centro Nacional De Seguridad Digital y el diseño del Centro Nacional De Datos (Presidencia del Consejo de Ministros [PCM], 2020).

## **2.2. Instituciones**

Con respecto a instituciones impulsadoras de la CTI, por parte del sector público, se destaca la creación, en 2004, del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (SINACYT), que vincula a los diversos agentes de los sectores privado, público y académico para la elaboración y ejecución de planes y programas de CTI de largo plazo. Asimismo, con la creación del Sistema, se determinó como su organismo rector a CONCYTEC (Ley N° 28303, 2004). Este organismo se encarga de formular políticas, y de la promoción y gestión de acciones que buscan generar y transferir conocimiento científico y tecnologías enfocadas en el desarrollo social y económico del país. Además, su finalidad consiste en normar, dirigir, fomentar, coordinar, supervisar y evaluar las acciones del Estado en el ámbito de la CTI; así como impulsar su desarrollo mediante el trabajo conjunto entre los programas y proyectos de las organizaciones públicas, académicas, empresariales, sociales y personas integrantes del SINACYT. De esta manera, busca promover la capacidad nacional de generación de conocimientos científicos y tecnológicos, para que puedan ser incorporados a los bienes y servicios del país (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], s/f).

Dentro de algunas iniciativas que ha venido llevando a cabo CONCYTEC, se destaca la promoción de formación de instancias de coordinación regional de ciencia, tecnología e innovación en las distintas regiones del país, como grupos de discusión y propuesta. Además, este organismo ha constituido consorcios y redes interinstitucionales, tales como la Red Académica Peruana, el Instituto Internacional de Investigaciones del Perú, los Consorcios Universitarios de

Investigación, entre otros; con la finalidad de generar conocimiento mediante la investigación. Sumado a ello, ha promovido también la asociación de empresarios e investigadores para actividades conjuntas de innovación. Por último, CONCYTEC financia proyectos de investigación e innovación, mediante fondos concursables, orientados a alentar la asociatividad entre centros de investigación y empresas, en actividades relevantes y que contribuyan a elevar la competitividad del país.

En esta misma línea, la Secretaría de Gobierno y Transformación Digital, perteneciente a la Presidencia del Consejo de Ministros, tiene la misión de liderar la articulación, implementación y evaluación de la Política Nacional de Transformación Digital (Presidencia del Consejo de Ministros [PCM], 2021b). Una de las acciones más relevantes de esta es la creación del Laboratorio de Gobierno y Transformación Digital, el cual es un espacio de cocreación que busca que la academia, la sociedad civil, los sectores público y privado, y los ciudadanos, participen en el diseño, rediseño y digitalización de servicios públicos, y la transformación digital del país. Dentro de sus prioridades se puede destacar que busca impulsar el aprovechamiento de las tecnologías emergentes, inteligencia artificial, *blockchain*, *big data*, internet de las cosas, impresión 3D, robótica, entre otros, en el despliegue de proyectos de gobierno y transformación digital, garantizando el uso ético de los datos y la privacidad en el entorno digital (RS N° 003-2019-PCM/SEGDI, 2019). En adición, esta secretaria está trabajando en el desarrollo del Índice de Innovación Digital para las entidades públicas, iniciativa que tiene como finalidad establecer una hoja de ruta para acompañar a las entidades en su proceso de transformación digital, así como también permita mejorar el diseño y agilizar el acceso a servicios públicos. El cálculo de este índice será realizado en base a tres dimensiones: recursos y condiciones, articulación y vinculación, y datos e innovación (Presidencia del Consejo de Ministros [PCM], 2021a).

Con relación a la cooperación internacional, la Agencia Peruana de Cooperación Internacional ha tenido un rol fundamental como intermediadora de las relaciones internacionales de cooperación en ciencia, tecnología e innovación en el país. Tal es el caso del convenio “Fortalecimiento de la Innovación basada en TIC para la Región Arequipa”, firmado entre los gobiernos de Perú y Corea. Este proyecto busca fortalecer la competitividad regional y promover el Sistema Regional de Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, a través del fortalecimiento y el desarrollo del capital humano en la región. Para ello, se desarrollarán actividades de investigación, desarrollo e innovación, e incubación de emprendimientos basados en TIC. Entre los resultados esperados del proyecto, se mencionan la transferencia tecnológica, la mejora de la gestión de propiedad intelectual y el fortalecimiento de capacidades para la investigación. Además, la Agencia de Cooperación Internacional de Corea (KOICA) será la que financie dicho proyecto, el cual asciende a 10 millones de dólares para su ejecución en un periodo

de 6 años, desde el 2016 hasta el 2021 (APCI, 2016; Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], 2016).

Otro proyecto de cooperación importante es la convocatoria bilateral de colaboración tecnológica empresarial Perú – España. Desde el año el año 2014, Perú, a través del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), y España, mediante el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), fomentan el desarrollo de tecnologías entre empresas peruanas y españolas, a través de fondos concursables para la subvención de proyectos de innovación y desarrollo tecnológico (Perspectiva CDTI, 2021). Esta convocatoria se encuentra dirigida a empresas pequeñas, medianas o grandes y cuyos proyectos sean de los sectores agricultura, manufactura, pesca, textil, minería, turismo, educación, salud, energía, biomedicina, tecnologías de la información, entre otros relacionados (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], 2021).

De igual forma, en 2020, CONCYTEC obtuvo el financiamiento para el desarrollo del proyecto “Industria 4.0: Tecnologías facilitadoras y digitalización inclusiva para la recuperación económica en cadenas de valor de APEC, en el contexto post-COVID-19”. Este fue otorgado por el Foro de Cooperación Económica de Asia Pacífico (APEC), que agrupa a 21 economías, dentro de las que se puede destacar a Perú, Chile, China, Japón, Corea, Estados Unidos y Rusia. Dicho proyecto permitirá realizar un diagnóstico preliminar de las cadenas de valor que más han sido afectadas por el COVID – 19 en la región APEC. Asimismo, dentro de las actividades del proyecto, se realizará un simposio, que tiene como objetivo difundir las buenas prácticas y el uso de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, así articular visiones comunes con las economías de la región y desarrollar recomendaciones conjuntas en favor de APEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica [CONCYTEC], 2020).

También se han desarrollado proyectos de esta naturaleza con países de Latinoamérica, tal es el caso de Uruguay, país con el que se mantiene una lista de proyectos relacionados a la ciencia y tecnología, disciplinas en las que Uruguay tiene amplia experiencia; y turismo y gastronomía, ejes temáticos en los que Perú ha trabajado previamente. Estos proyectos formaron parte del Programa de Cooperación Técnica 2017-2019, promovido por las agencias de cooperación internacional de ambos países (APCI, 2016).

Es importante mencionar también el Centro de Cooperación en Gobierno y Transformación Digital Perú-Corea, fundado en octubre del 2021 y pertenece a la Secretaría de Gobierno y Transformación Digital de la Presidencia del Consejo de Ministros. Este busca impulsar la innovación, la inclusión y transformación digital del país en favor de la ciudadanía. Es así como representa una gran oportunidad para aprovechar las tecnologías asociadas a la Cuarta

Revolución Industrial en aras de la reactivación económica del país, fortalecimiento de la educación e inclusión digital, y el ejercicio de la ciudadanía digital (Presidencia del Consejo de Ministros [PCM], 2021c).

Por otro lado, el sector privado también realiza esfuerzos en miras del desarrollo de la CTI. Por ejemplo, el CITE (Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica) es una institución que transfiere tecnología y promueve la innovación en las empresas. Además, tiene un rol importante en el impulso de la innovación tecnológica, el fomento de la investigación aplicada, la especialización y la difusión de conocimientos tecnológicos en cada cadena productiva. De esta forma, busca mejorar la productividad de las Mipymes del país, especialmente, con innovación, tecnología y calidad. Actualmente, existen 46 CITEs a nivel nacional, siendo 19 los pertenecientes al sector privado. Cuentan también con presencia en todo el Perú, con organizaciones de los sectores: Pesquero y Acuícola; Agroindustrial y Alimentario; Indumentaria; Energía, Materiales y Minería; Productivo; Madera y Forestal; Marketing y Logística; e Industrias Creativas (Instituto Tecnológico de la Producción, s/f).

### **3 Avances con relación a la Industria 4.0 por sectores en el país**

Las tecnologías de la Industria 4.0 han sido mayormente aplicadas en empresas privadas, sobre todo en aquellas pertenecientes al sector de manufactura; no obstante, como se ha mencionado a lo largo del trabajo, este paradigma tiene influencia sobre todos los sectores e industrias de un país. Por ello, en esta sección, se expondrá los avances en materia de adopción de la Industria 4.0 en los principales sectores productivos y sociales del Perú. Para la selección de estos, se han utilizado los criterios de aporte al PBI, relevancia para el país y relación más directa con la Industria 4.0. Además, se ha tomado como referencia los sectores priorizados del Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la competitividad y el desarrollo humano, desarrollado por CONCYTEC.

#### **3.1. Sectores productivos**

De acuerdo con los criterios mencionados líneas arriba, los sectores productivos a considerar son los siguientes: minería e hidrocarburos; manufactura; pesca; agropecuario; electricidad, gas y agua; construcción; y servicios.

El sector **minería e hidrocarburos** es uno de los principales sectores productivos del país, representando el 12.6% del PBI (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2021a). Asimismo, el Perú es el primer lugar en la producción en oro, zinc, plomo y estaño; y segundo lugar en la producción de cobre, plata y molibdeno en Latinoamérica (U.S. Geological Survey, 2021). Debido a la paralización de sus actividades durante los primeros meses de la pandemia, durante 2020, la producción de hidrocarburos, cobre, oro, plata y plomo se vio afectada. Este año,

el sector se ha venido recuperando, aumentando su producción en 11.9% a comparación del año anterior (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2021b).

La Industria 4.0 en el sector facilita una disminución en costos, permite extraer mayor cantidad de mineral, lo que se consideraba antes muy caro, y garantiza la seguridad de los colaboradores, al minimizar su nivel de exposición al riesgo (Artica, 2021). No obstante, “mientras que la minería en otros países del mundo atraviesa la tercera fase de su transformación digital, el Perú recién empieza su primera etapa y cubre solo las fases más básicas de automatización (...) tenemos que incorporar más tecnologías de la cuarta revolución industrial como internet de las cosas, analítica de datos, inteligencia artificial, robotización, además de *blockchain* en los procesos como ya se está haciendo en otros países” (Morris, 2019). A pesar de ello, la pandemia y los cambios que trajo consigo han impulsado la transformación hacia la Industria 4.0 en este sector; en efecto, “aceleró el trabajo remoto, introdujo aplicaciones móviles para agilizar procesos de validación y aprobación, hasta trabajos colaborativos en red y en la nube para monitorear y supervisar de manera remota las operaciones” (Artica, 2021). Por eso, se considera que la pandemia ha dado el impulso definitivo al proceso de transformación digital en esta actividad.

Entre las empresas del sector que hacen uso de las tecnologías de la Industria 4.0, se destaca a AngloAmerican. Esta empresa apuesta por una minería inteligente, donde grandes cantidades de datos de calidad se transforman en inteligencia predictiva, lo que conduce a operaciones seguras, integradas, sistematizadas y de autoaprendizaje. Dentro de las tecnologías que esta empresa aplica resalta la digitalización de procesos a través de sensores e inteligencia artificial, la eliminación de la incertidumbre y variabilidad en su cadena de valor, la implementación de mantenimiento predictivo para detectar fallas antes de que ocurran y el uso de simuladores digitales de aprendizaje automático que generan recetas operativas más precisas para unidades de procesamiento complejas (AngloAmerican, s/f).

Antamina también apuesta por nuevas tecnologías y tal es el caso del uso de drones. A más de 4300 msnm, la empresa utiliza estos dispositivos con el fin de garantizar una mejor supervisión a sus camiones, evitar accidentes y prevenir el tráfico. Esto permite evitar los tiempos muertos, hacer un mejor uso de equipos críticos y un mayor movimiento de material. Además, los drones no necesitan de guía humana para su funcionamiento y las imágenes que se captan tienen la capacidad de ser vistas por cualquier ejecutivo autorizado desde su celular en cualquier parte del mundo (Semana Económica, 2017).

Otro de los principales sectores productivos del país es el **manufacturero**, el cual constituye el 12.1% del PBI (BCRP, 2021b), y fue uno de los pilares que contribuyeron en el

crecimiento interanual de 11.83% del Perú en agosto de 2021 (America Economía, 2021b). Se encuentra compuesto por actividades como alimentos y bebidas; textil, cuero y calzado; madera y muebles; industria de papel e imprenta; productos químicos, caucho y plástico; minerales no metálicos; productos metálicos, maquinaria y equipo, entre otros.

Con respecto a la inversión en innovación, según la Encuesta Nacional de Innovación de la Industria Manufacturera y Empresas de Servicios Intensivos en Conocimiento (ENIIMSEC) 2018, el 55.4% de empresas del sector manufacturero lograron desarrollar al menos una actividad de innovación durante el periodo 2015 – 2017, invirtiéndose así 9 505 millones de soles en actividades de innovación. Asimismo, las empresas pequeñas son las que menos invierten en innovación. Es así como el 51.5% de pequeñas empresas realizaron esfuerzos por innovar, mientras que las medianas y grandes ascienden a 70.0% y 69.7% respectivamente. Además, estos dos grupos en su conjunto concentran el 90.9% del gasto total en innovación realizado por el sector (PRODUCE, 2020).

Un ejemplo de adopción de la Industria 4.0 en el sector es la Corporación Rey, compañía especializada en la producción y comercialización de cierres, cintas, elásticos y etiquetas tejidas. La empresa utiliza algoritmos para automatizar la secuencia de su producción, a través de la priorización de pedidos basado en estadísticas. De esta manera, se puede identificar qué pedidos mandar a fabricar primero y la secuencia óptima a seguir por línea de producción, automatizando así el análisis complejo y la toma de decisiones. Esta aplicación ha resultado en un incremento de 63% en la productividad y reducción de costos en 10%. Para la mejora del control de calidad, la Corporación Rey emplea la visión artificial, algoritmo conectado a la cámara de un robot que permite discriminar entre cierres de buena calidad, defectuosos y recuperables. De ahí, se logra identificar fallas que pueden ser indetectables ante el ojo humano, con alta precisión, incrementando la velocidad y eficiencia del diagnóstico, asegurando una evaluación objetiva al 100%, permitiendo un análisis y seguimiento en tiempo real, y la liberación del personal del proceso manual. La empresa también hace uso de la manufactura aditiva, a través de las impresoras 3D. Estas se utilizan en la producción de prototipos y diseñando y creando repuestos de sus máquinas (PRODUCE, 2021).

Por su parte, el sector **pesquero** se ubica dentro del grupo de las cuatro actividades económicas con mayores ingresos de divisas al país (Sociedad Nacional de Pesquería, 2020a), genera más de 700 mil puestos de trabajo directos e indirectos de manera descentralizada a nivel nacional y, durante la primera temporada, generó 1065 millones de dólares en exportaciones de harina de pescado y aceite crudo (Industrias Pesqueras, 2021). Además, representa el 0.5% del PBI del Perú (BCRP, 2021b).

Correspondiente a la aplicación de la Industria 4.0, Ernst and Young (2021) menciona que es un sector que ha iniciado recientemente su proceso de transformación digital, sin embargo, no ha conseguido implementarlos del todo. En cuanto a casos de aplicación de la Industria 4.0, se tiene a Pesquera Diamante, quien recientemente lanzó la plataforma tecnológica SAP S/4 HANA, un ERP que permite agilizar y unificar los procesos administrativos y financieros de la compañía; mejorar la trazabilidad; facilitar el acceso de forma confiable y oportuna de las distintas unidades del negocio; y analizar la información en tiempo real. A través de estas funcionalidades se busca mejorar la eficiencia a lo largo de la organización y brindar bases sólidas para el crecimiento (Sociedad Nacional de Pesquería, 2019, 2020b).

Asimismo, desde el 2018, Hayduk Corporación viene trabajando en su plan de transformación digital, enfocado en incrementar la eficiencia de sus operaciones. Así, la empresa implementó antenas satelitales en su flota para la comunicación entre la tripulación, plantas de producción, oficina central y sus familias, desde cualquier punto del mar. De esta manera, es la primera pesquera en el Perú con una flota interconectada las 24 horas del día. Adicionalmente, se instalaron sensores en los principales equipos, con la finalidad de que el ingreso de data e información sobre variables críticas de los procesos a bordo del sistema como el consumo de combustible, temperatura de bodegas refrigeradas, comportamientos inseguros, entre otros, sea directo y en tiempo real. Hayduk también hace uso de *big data* en la nube, información que es procesada y analizada en diversas plataformas de inteligencia de negocios, por lo que ya no se requiere esperar al retorno de los barcos para ingresar la data al sistema (UTEK & Everis, 2019a).

De igual forma, el CITE pesquero Callao se encuentra próximo a contar con un sistema de automatización 4.0, entre cuyas tecnologías están el monitoreo remoto y la estandarización de parámetros de producción. Ello con la finalidad de conseguir la eficiencia energética y en la producción (Instituto Tecnológico de la Producción, 2021).

En cuanto al sector **agropecuario**, la incorporación de la tecnología trae beneficios como la reducción de tiempos de cosecha y la mejora en la calidad de sus productos. Sin embargo, la mayor parte de empresas que invierten en esta materia son las grandes, mientras que las medianas y pequeñas empresas solo lo hacen de acuerdo a los resultados de sus campañas agrícolas (Mayer, 2018a). Cabe señalar que dentro de las tecnologías más utilizadas en el sector destacan las aplicaciones que permiten conocer las necesidades hídricas de los cultivos, programas informáticos para estudios de los terrenos para sembrar y sistemas de riego por telemetría capaces de recopilar y analizar datos que se generan remotamente (Mayer, 2018b). Tal es el caso del proyecto "Perú Smart Agro 4.0", llevado a cabo por Telefónica, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Perú y el Ministerio de Agricultura y Riego, y

cuyo objetivo se centró en mejorar la producción de pequeños agricultores de algodón al promover un uso eficiente del agua a través de la tecnología. La iniciativa utilizó sensores que a través del IoT y Big Data permitieron el análisis de la humedad del suelo, brindando así resultados que contribuyeron a la formulación de recomendaciones para que los agricultores puedan tomar óptimas decisiones de riego en el cultivo y mejoren su rendimiento (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021).

Por otro lado, el sector **electricidad, agua y gas**, el cual incluye a las fuentes de energía hidroeléctrica, termoeléctrica, gas natural de Camisea, eólica y solar, contribuye un 2% al PBI nacional (BCRP, 2021b). En primer lugar, en la industria eléctrica se ha identificado a Enel como la empresa que se encuentra más involucrada en la implementación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0. Dentro de los principales cambios que Enel está introduciendo al mercado peruano se puede destacar que han implementado el recibo digital. Del mismo modo, también han iniciado con la instalación de medidores inteligentes, lo que brinda la posibilidad a los clientes de saber cuándo están consumiendo y así poder cambiar sus hábitos de consumo para que su factura sea accesible. Por último, Enel ha desarrollado una campaña de sensorización para todos sus equipos eléctricos, lo que les da la oportunidad de recoger datos relevantes para la realización de mantenimiento preventivo (UTECH & Everis, 2019b). En segundo lugar, con respecto al servicio de agua potable se destaca el ingreso de Idrica al Perú, empresa que a través de su software GoAigua buscará regularizar, automatizar y estandarizar el sistema de lectura, facturación, cobro y atención al cliente en Sedalib, empresa que presta el servicio de agua potable y alcantarillado en La Libertad, impactando así en más de 200 000 clientes (Idrica, 2021). Finalmente, las empresas distribuidoras de gas natural también se han sumado a la transformación digital. Esto se logró a través de la implementación de Open Smartlex, plataforma digital que, entre otras funciones, brinda la oportunidad de administrar información de manera inmediata en cualquier momento y lugar gracias al almacenamiento en la nube (Minería y Energía, 2019).

En contraste con los otros mencionados, el sector **construcción** se encuentra rezagado con respecto a la digitalización, tanto a nivel nacional como internacional. Esto se debe principalmente a la atomización, poca calificación tecnológica de proveedores, poco interés en invertir en tecnología para proyectos de corta duración y márgenes inciertos, considerándose así una industria tradicional y artesanal (Escobal, 2021a). Este sector, que constituye el 5.6% del PBI (BCRP, 2021b), destina el 1% de los ingresos brutos a la inversión en tecnología, mientras que en otras industrias la cifra aumenta a 3% (Semana Económica, 2021b), lo cual responde al desconocimiento de las empresas para ejecutar innovaciones. Estas consideran que la tecnología es un gasto o muy costosa y que este tipo de inversiones solamente es posible para grandes corporaciones, por lo que no invierten en softwares ni en plataformas colaborativas (Perú

Construye, s/f-a). Sumado a ello, existe una ausencia de planificación estratégica para la elección de las tecnologías adecuadas, y la necesidad de establecer una hoja de ruta para la implementación de una estrategia digital (Perú Construye, s/f-b). Es así como existe una pérdida de competitividad causada por la baja digitalización, desconocimiento de la oferta de herramientas digitales para superar los *pain points* existentes, y necesidad de potenciar las habilidades y el conocimiento digital de los profesionales (Escobal, 2021b; Semana Económica, 2021a).

Finalmente, se destaca también la importancia del sector **servicios**, pues contribuye en 50.6% al PBI del Perú (BCRP, 2021b) y, durante el 2013-2017, los servicios han generado el 34.9% del empleo nacional (PRODUCE. Este sector está compuesto por subsectores tales como transporte y almacenamiento, restaurantes, alojamiento, telecomunicaciones y otros servicios de información, financiero y seguros, entre otros. De ellos, en relación a la innovación, se resalta lo siguiente. Por un lado, el gasto en actividades de innovación que realiza el subsector de telecomunicaciones, servicios de información y otros servicios prestados a otras empresas redujo su inversión de 4 841 Millones de soles en el 2015 a 4 140 Millones en el 2017. Por otro lado, las empresas del subsector financiero y seguros lideran el nivel de inversión en proyectos transformacionales, el cual aumentó en 14.7% en el 2021. Además, el 61% de estas han acelerado su plan de transformación digital (Ernst and Young [EY], 2021). Al respecto, Interbank es considerado el caso de mayor éxito, al ser considerado por Neo Consulting como el banco más innovador según los limeños de 25 a 37 años. Sus plataformas Interbank App y Banca por Internet hacen posible que el 95% de sus operaciones puedan ser realizadas por estos medios; asimismo, sus servicios de Tarjeta Digital y el ahorro por la Alcancía Virtual brindan mayores facilidades al usuario y mejoran su experiencia (Sociedad de Comercio Exterior del Perú [ComexPerú], 2021b).

### **3.2. Sectores sociales**

En cuanto a los sectores sociales identificados como de mayor relevancia para el presente trabajo, se encuentran educación y salud, principalmente por los cambios orientados a la digitalización que se vieron en la necesidad de adaptar.

A raíz de la pandemia, el sector educación ha visto la necesidad de adaptarse para desenvolverse en un entorno digital, a partir de que su funcionamiento dependía de la disponibilidad de sus servicios mediante el acceso remoto. Así, este sector es uno de los que mayor crecimiento ha tenido en cuanto a madurez digital para el 2021 (EY, 2021). Un ejemplo de ello es que “las instituciones educativas invierten hasta S/40.000 por implementar herramientas tecnológicas que potencien sus negocios en medio de la pandemia, brindando información, propuesta de valor, beneficios, accesibilidades, y gran diferencial para conseguir la cantidad de clientes potenciales en redes y de esta manera tratar de llegar a cumplir con sus objetivos y metas”

(Redacción El Comercio, 2021). Además, iniciativas como Aprendo en Casa para las instituciones educativas públicas del país y el examen de admisión virtual usando la plataforma *ULearning* de *Huawei Cloud* del Instituto Educativo Superior Público Manuel González Prada han sido desarrolladas.

Por su parte, el sector salud ha tenido avances con respecto a la digitalización de sus servicios, tales como la telemedicina, modalidad impulsada por la pandemia y que ha logrado atender 14 millones de pacientes para el 2020, mientras que para mediados de 2021 esta cifra asciende a 20 millones (Redacción Gestión, 2021). Dentro de las principales iniciativas relacionadas a la aplicación de tecnología en este sector se puede destacar la implementación de las historias clínicas electrónicas, las cuales son un repositorio digital de los datos de un paciente, que se encuentran almacenados de manera segura y disponible para los usuarios autorizados. Este tipo de historias clínicas se caracterizan por ser accesibles desde cualquier espacio y en cualquier momento (Rojas, Cedamano & Vargas, 2015). Asimismo, otro ejemplo de la aplicación de tecnología a este sector es la implementación de recetas electrónicas, las cuales son el complemento de la telemedicina. Esta iniciativa ya se encuentra disponible para los asegurados del SIS y les permite recoger sus medicinas en diferentes establecimientos de salud (Redacción Gestión, 2021).

Estos avances registrados en educación y salud permiten identificar el potencial para el crecimiento de la transformación digital en estos sectores. No obstante, su desarrollo aún se encuentra limitado por brechas de infraestructura existentes en el país: el 27% de los hogares no tienen acceso a internet y el 60% de las instituciones educativas no cuentan con equipamiento tecnológico adecuado (Sociedad de Comercio Exterior del Perú [ComexPerú], 2021a; Díez Canseco, 2020).

En suma, se puede llegar a la conclusión de que, a nivel país, el Perú se encuentra rezagado en cuanto a la preparación e implementación de tecnologías relacionadas a la Industria 4.0, pues sus niveles de preparación tecnológica, adopción de TICs, innovación, y nivel de investigación y desarrollo son bajos. Esta situación se puede ver también en los sectores que componen la estructura organizacional del país. Así, sectores como manufactura, minería, pesca y financiero se encuentran iniciando recientemente su camino hacia la adopción de la Industria 4.0; mientras que otros como el sector construcción, desconocen sobre la inversión en tecnologías ni tampoco cuentan con una estrategia digital. Además, se ha encontrado que aquellas que más invierten y desarrollan innovaciones son las grandes empresas, lo que causa una pérdida de competitividad de las Mypes. Teniendo esto en consideración, diversos lineamientos e

instituciones han sido creados para promover la adopción de estas tecnologías en las organizaciones peruanas y fomentar el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en el Perú.



## **CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente apartado se desarrolla la metodología utilizada en el trabajo. En primer lugar, se desarrolla el alcance, enfoque y diseño de la investigación. Seguidamente, se detallan las herramientas de recolección y análisis de información utilizada, así como los criterios de ética para la investigación. Finalmente, se presenta un flujograma de las etapas que seguirá la investigación.

### **1. Alcance de la Investigación**

Hernández, Fernández & Baptista (2014) señalan que el alcance de un estudio depende de la estrategia de la investigación, pudiendo ser así exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Por ello, teniendo en consideración que la presente investigación plantea proponer un modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana, y que la revisión de la literatura evidencia la escasez de estudios sobre la elaboración de un modelo de madurez tanto en el Perú como a nivel Latinoamérica, se considera que el alcance exploratorio es el más idóneo para la investigación. Esto pues busca “examinar un tema poco estudiado, sea porque aún no se han realizado investigaciones específicas al respecto o porque se trata de un fenómeno organizacional relativamente nuevo” (Pasco & Ponce, 2018, p. 43). Además, Hernández et al. (2014) mencionan que no se formulan hipótesis para los estudios de alcance exploratorio, por lo que la presente investigación no presenta una.

### **2. Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación se clasifica en el enfoque, la estrategia general y el horizonte temporal de la investigación (Hernández et al., 2014). En cuanto al enfoque de la investigación, normalmente este cuenta con dos aproximaciones: cuantitativa y cualitativa. El enfoque cuantitativo “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández et al., 2014, p. 4). En este sentido, este estudio es de enfoque cuantitativo; ya que se recopilará información, a través de un cuestionario, con la finalidad de evaluar la validez del modelo de madurez para la Industria 4.0 planteado.

Por otro lado, en el enfoque cuantitativo, se utiliza el diseño para analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular o para aportar evidencias respecto de los lineamientos de la investigación (si es que no se tienen hipótesis), siendo este último el caso del presente estudio (Hernández et al., 2014). El diseño seleccionado es no experimental, puesto que la investigación será llevada a cabo sin la manipulación deliberada o intencional de las variables; en otras palabras, solamente se observarán los fenómenos tal cual en su estado natural y serán analizados en base a ello (Hernández et al., 2014).

Asimismo, la estrategia general de la investigación es de tipo encuesta, en la cual los investigadores buscan conocer características puntuales de un fenómeno organizacional a partir de información brindada por actores relevantes. Este tipo de estrategia general se caracteriza por, entre otras características, utilizar mediciones cuantitativas con cuestionarios de preguntas cerradas y por involucrar un gran conjunto de sujetos en su muestra (Pasco & Ponce, 2018).

Finalmente, el horizonte temporal determinado para la investigación es de tipo transversal o transeccional. A partir de que este permite recolectar datos en un solo momento o tiempo único, con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández et al., 2014). De esta manera, se recogerá información de organizaciones peruanas, con preguntas orientadas hacia su situación en un momento específico sobre la Industria 4.0.

### **3 Herramientas de recolección de información**

De acuerdo con Hernández et al. (2014), en el proceso de recolección de datos se utilizan procedimientos estandarizados y aceptados por la comunidad científica para poder medir fenómenos que puedan observarse. Por ello, en esta sección, se explica la selección de la muestra y el proceso que se siguió en el cuestionario.

#### **3.1. Selección de la muestra**

Se utiliza una muestra cuando el número de unidades de observación es amplio y hacer una recolección exhaustiva de información o recoger información sobre todas estas unidades no es tan viable. Así, se opta por enfocarse en solamente una parte de dicho conjunto (Pasco & Ponce, 2018). Asimismo, las muestras pueden ser de tipo probabilística –en donde todas las unidades de observación tienen la misma posibilidad de ser escogidas para la muestra– o no probabilística, cuya elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de otros criterios de decisión de aquellos que recolectan los datos (Hernández et al., 2014). Con respecto a esta última, “los estudios exploratorios regularmente emplean muestras dirigidas” (Hernández et al., 2014, p. 190) y, al requerir de la selección casos “típicos”, permite reflejar o contar con cierta aproximación al fenómeno organizacional investigado (Pasco & Ponce, 2018). Por lo que, considerando que se busca recopilar información sobre las organizaciones peruanas en general, se optó por trabajar con una muestra de ellas. Además, esta es de tipo no probabilístico, específicamente por conveniencia, pues se consideraron aquellos casos disponibles o a los que se tenía mayor acceso en la investigación (Hernández et al., 2014).

En cuanto al tamaño de la muestra, al ser un muestreo no probabilístico, no se puede emplear la fórmula general para hallar el tamaño de la muestra ideal. No obstante, Hair et al. (citado en Rositas, 2014) señala que “los investigadores no deben usar el análisis factorial para

muestras de tamaño inferior a 50 observaciones. Preferiblemente el tamaño muestral debería ser de un mínimo de 100 observaciones” 253). En esa misma línea, Kline (1994) sugiere que una muestra no inferior a 100 sujetos es suficiente; mientras que Morales (2011) considera que una muestra superior a 100 participantes y mayor o igual al doble del número de ítems a analizar es válida.

Por otro lado, se buscó abordar la mayor cantidad de respuestas de diversos tipos de organizaciones (instituciones públicas, entidades sociales y empresas privadas) de distintos rubros, sectores y/o industrias, pues, como se mencionó en la justificación, esta propuesta de modelo buscar ser aplicable a las organizaciones del Perú en general. Por ello, y con la finalidad de recoger información confiable sobre la realidad de la organización con respecto a la adopción y conocimiento sobre la Industria 4.0, el perfil de los encuestados consistió en miembros de organizaciones (del sector público, social y empresarial) que ocupen alguno de los siguientes cargos: asistente, analista *junior*, analista, jefe, subgerente, gerente u otra posición de rango similar o mayor, pertenecientes a las áreas de tecnología, innovación, estrategia, operaciones, comercial y afines al tema de la investigación.

Tomando en consideración lo anterior, se alcanzó un total de 134 encuestados que cumplieron con las características establecidas, los cuales fueron contactados a través de LinkedIn (33.6%), Coordinación del Vínculo con Organizaciones de la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la PUCP (14.9%), red de contactos propia (36.6%) y el 14.9% restante fue invitado a participar en la encuesta a través de la comunidad Business Networking International (BNI) Perú, organización de redes empresariales.

### **3.2. Cuestionario**

Para la presente investigación se ha utilizado un cuestionario como herramienta de recolección de información con la finalidad de poner a prueba el modelo de madurez elaborado. Este fue de tipo autoadministrado, es decir, que fue proporcionado directamente a los participantes, sin intermediarios y las respuestas fueron marcadas por ellos mismos (Hernández et al., 2014). Para ello, se elaboró el cuestionario en la plataforma Formularios de Google y se compartió el enlace con las personas que cumplieron con el perfil expuesto en el punto anterior, a través de los medios previamente señalados. Cabe indicar que el periodo de aplicación del cuestionario fue del 18 de noviembre al 24 de diciembre del 2021.

Con respecto al tipo de preguntas aplicadas en cuestionarios, estas pueden ser de dos tipos: abiertas y cerradas. La primera de ellas se caracteriza por no delimitar las alternativas de respuesta, por lo que la cantidad de categorías de respuesta puede ser muy elevado. Mientras que el segundo tipo de preguntas se caracteriza por contener categorías u opciones de respuestas

previamente delimitadas (Hernández et al., 2014). Es así como, para este estudio se optó por el uso de preguntas cerradas. Asimismo, se ha utilizado la escala de Likert como método de medición pues es la forma más utilizada en la evaluación de modelos de madurez (De Bruin et al., 2005). Esta consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones, para los que se solicita la reacción de los participantes del cuestionario y este obtiene una puntuación en base a sus respuestas (Pasco & Ponce, 2018). Cada opción de respuesta corresponde a una escala que presenta cinco niveles, donde el nivel 1 es el más bajo y 5 el más alto. Adicionalmente, las opciones se han adaptado a cada pregunta para facilitar su entendimiento.

#### **4 Herramientas para el análisis de datos**

Para el análisis de la información recogida en el cuestionario, se utilizaron las técnicas del análisis cuantitativo: análisis descriptivo y análisis factorial confirmatorio, los cuales serán descritos a continuación.

##### **4.1. Análisis descriptivo**

Pasco y Ponce (2018) señalan que el análisis descriptivo “se usa para explorar el comportamiento de las variables estudiadas a partir del conocimiento sobre el comportamiento de los datos en la muestra, lo cual se realiza mediante distribuciones de frecuencia e histogramas, representaciones gráficas y medidas numéricas de resumen de datos” (p. 69). En este sentido, se ha empleado este análisis, con la finalidad de caracterizar la muestra y contextualizar la información recopilada antes de proceder con el análisis factorial.

##### **4.2. Análisis Factorial Confirmatorio**

Existen dos tipos de análisis factoriales, el primero de ellos es el exploratorio, que es utilizado cuando el investigador posee poco conocimiento sobre la variable o constructo objeto de estudio (Lloret-Segura, Ferreres-Traver, Hernández-Baeza & Tomás-Marco, 2014). En cambio, el análisis factorial confirmatorio se aplica cuando el investigador ya tiene conocimiento sobre las variables del objeto de estudio y uno de sus principales objetivos es comprobar si el modelo planteado verdaderamente se adecua a los datos, es decir, evalúa la validez del constructo de una teoría de medición propuesta (Hair et al., 2014; Lloret-Segura et al., 2014). Por lo tanto, se realizará este último, pues se busca validar el modelo de madurez hacia la Industria 4.0 elaborado, para lo cual se utilizará el software Amos Graphics.

En el AFC, la validez puede ser definida como la medida en que un conjunto de elementos proporciona confianza en que las medidas de los ítems tomadas de una muestra representan la puntuación real que existe en una población. Para conseguirla, se debe contar con validez convergente y discriminante.

En primer lugar, se tiene a la validez convergente, la cual indica que los ítems que son indicadores de un constructo comparten una alta proporción de varianza. Para establecerla, existen varias formas disponibles para estimar la cantidad relativa de validez convergente entre las medidas de los ítems. De ellos, se destaca la Varianza Media Extraída (AVE) y la fiabilidad del constructo (CR) (Ab Hamid, Sami & Mohmad, 2017). Con respecto al umbral de aceptación para el AVE, Hair et al. (2014) señala que si el valor de AVE es mayor o igual a 0.5, este sugiere una convergencia adecuada. En cuanto al CR, un valor de 0.7 indica un buen nivel de fiabilidad o consistencia interna; es decir, que todas las medidas representan consistentemente el mismo constructo. Mientras que los valores comprendidos entre 0.6 y 0.7 pueden ser aceptables siempre y cuando otros indicadores de validez del constructo sean adecuados (Hair et al., 2014).

El segundo componente de validación a desarrollar en la investigación es la validez discriminante. Esta representa la medida en que un constructo es verdaderamente distinto de otros. Es así como, una alta validez discriminante indica que un constructo es único y captura información que otros constructos no (Hair et al., 2014). Para evaluarla se puede utilizar los criterios de carga cruzada del indicador, Fornell-Larcker y ratio de correlación Heterotrait-monotrait (HTMT). Para la investigación se decidió hacer uso del ratio de correlación HTMT, ya que Henseler et al. (citado en Ab Hamid et al., 2017) menciona que este es capaz de lograr tasas de especificidad y sensibilidad más altas (97% a 99%) en comparación con el criterio de carga cruzada (0,00%) y Fornell-Lacker (20,82%). Asimismo, el valor de este criterio debe ser inferior o igual a 0.85 o 0.90 para concluir la existencia de validez discriminante.

**Tabla 2: Valores de aceptación de criterios a utilizar**

Indicador	Valores de aceptación	Resultado
CR	$\geq 0.7$	Validez Convergente
AVE	$\geq 0.5$	Validez Convergente
Ratio de correlación HTMT	$\leq 0.85$ o $0.90$	Validez Discriminante

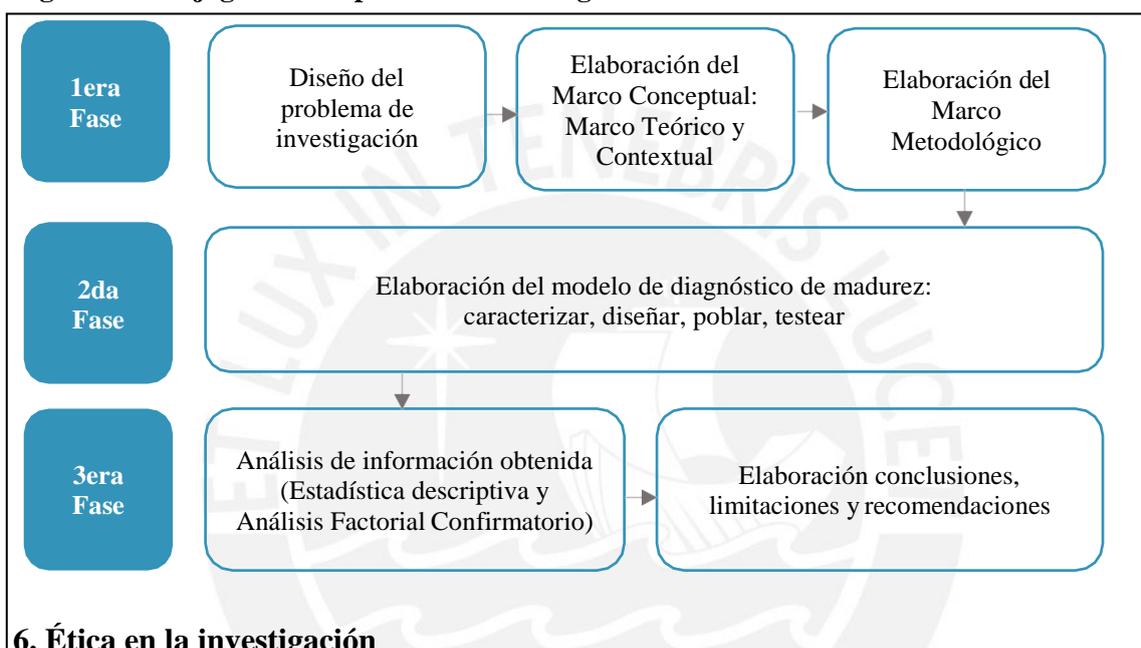
Adaptado de Hair et al. (2014) y Ab Hamid et al. (2017)

## 5. Flujograma de trabajo

Como se puede observar en la Figura 10, esta investigación se realizó en tres fases. La primera inició con la revisión de la literatura a fin de contar con información relevante sobre el tema y que contribuya al planteamiento del problema de investigación. Además, esto se complementó con la exploración de artículos académicos, estudios, estadísticas y otros documentos relevantes para la elaboración del marco teórico y contextual. Esta fase concluye con la elaboración del marco metodológico, definiéndose así el alcance, enfoque, diseño y herramientas de recolección y análisis para la investigación. La segunda fase consistió principalmente en la elaboración del modelo de diagnóstico de madurez para la Industria 4.0. Para

ello, se tomó como referencia la metodología propuesta por Bruin et al. (2005), siguiéndose así cuatro fases, en donde se elaboró, aplicó y validó un cuestionario y sus dimensiones. Por último, la tercera fase constó del análisis de la información obtenida, para lo cual se requirió del procesamiento y sistematización de los datos recogidos; de esta manera, se presentan los resultados de la aplicación del análisis de estadística descriptiva y análisis factorial confirmatorio. La investigación termina con la formulación de conclusiones y recomendaciones para investigaciones posteriores relacionadas al tema de la presente tesis.

**Figura 10: Flujograma del proceso de investigación**



## 6. Ética en la investigación

La presente investigación está situada en un contexto de pandemia causada por el COVID-19, en donde se deben respetar medidas sanitarias tales como el distanciamiento social obligatorio. Esto impide realizar un trabajo de campo de manera presencial; no obstante, a lo largo del desarrollo del estudio, llevado a cabo de manera remota, se ha asegurado el cumplimiento de los parámetros de ética en la investigación brindados por la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la PUCP. Pasco (2016) precisa los principios aplicables a la investigación en gestión: respeto por las personas, beneficencia, justicia, responsabilidad e integridad en el tratamiento de la información.

Teniendo esto en consideración, en la encuesta realizada se expuso el objetivo del cuestionario y de la investigación. Además, se pidió el consentimiento previo, lo que implica la voluntariedad de la participación de los participantes. Y, se mencionó que la información obtenida sería confidencial, así como que el tratamiento de los datos recogidos sería exclusivamente con fines académicos. Por lo mencionado, se puede asegurar que el estudio se encuentra dentro de los principios éticos establecidos por la Facultad.

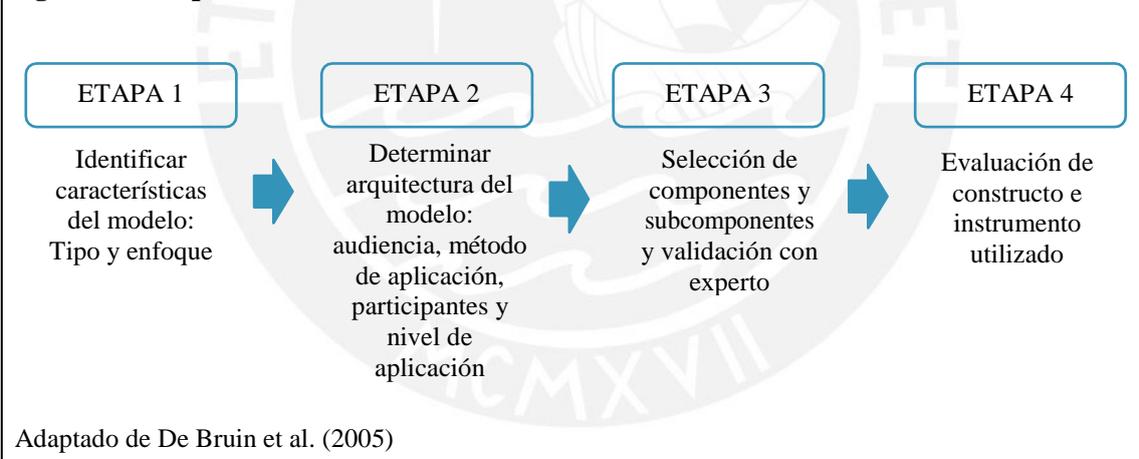
## CAPÍTULO 5: HALLAZGOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de las herramientas cuantitativas mencionadas en la metodología. De esta forma, en primer lugar, se detallará el proceso de elaboración del modelo de diagnóstico de madurez, el cual culmina con la elaboración del cuestionario. Después de ello, se analizará descriptivamente las respuestas. Por último, se realizará el análisis factorial confirmatorio, con el objetivo de evaluar las dimensiones y ítems establecidos en el modelo, y, en base a ello, realizar los ajustes necesarios para asegurar la validez del modelo.

### 1. Elaboración del modelo de diagnóstico de madurez

El objetivo principal de la investigación es proponer un modelo de madurez para la Industria 4.0. Por ello, en esta sección se detalla el proceso que se siguió para su elaboración, la cual encuentra basada en la metodología de desarrollo de modelos de madurez propuesta por De Bruin et al. (2005). Cabe señalar que los autores proponen seis etapas (caracterizar, diseñar, poblar, testear, implementar y mantener); no obstante, dado el alcance y objetivos del estudio, se utilizó las cuatro primeras (ver Figura 11).

**Figura 11: Etapas de desarrollo del modelo de madurez**



En primer lugar, se procedió a determinar las características del modelo. De esta manera, se ha optado por realizar uno de tipo descriptivo al ser una primera aproximación de modelo. Además, un modelo descriptivo brinda una comprensión más profunda de la situación del dominio tal como está, es decir, evaluará la situación tal cual (*as-is*) de una organización (De Bruin et al., 2005; De Carolis et al., 2017). En cuanto al enfoque del modelo, este puede ser de dominio general o específico. Al respecto, se ha considerado el enfoque general como más pertinente, pues este modelo de diagnóstico está orientado evaluar distintos aspectos en las organizaciones del Perú.

En segundo lugar, en la fase de diseño se determinó la arquitectura del modelo, con la finalidad de establecer las bases para su desarrollo y aplicación (De Bruin et al., 2005). Así, se

seleccionó la audiencia, método de aplicación, participantes y nivel de aplicación, de acuerdo a las opciones presentadas en la Tabla 3.

**Tabla 3: Decisiones en el diseño de un modelo de madurez**

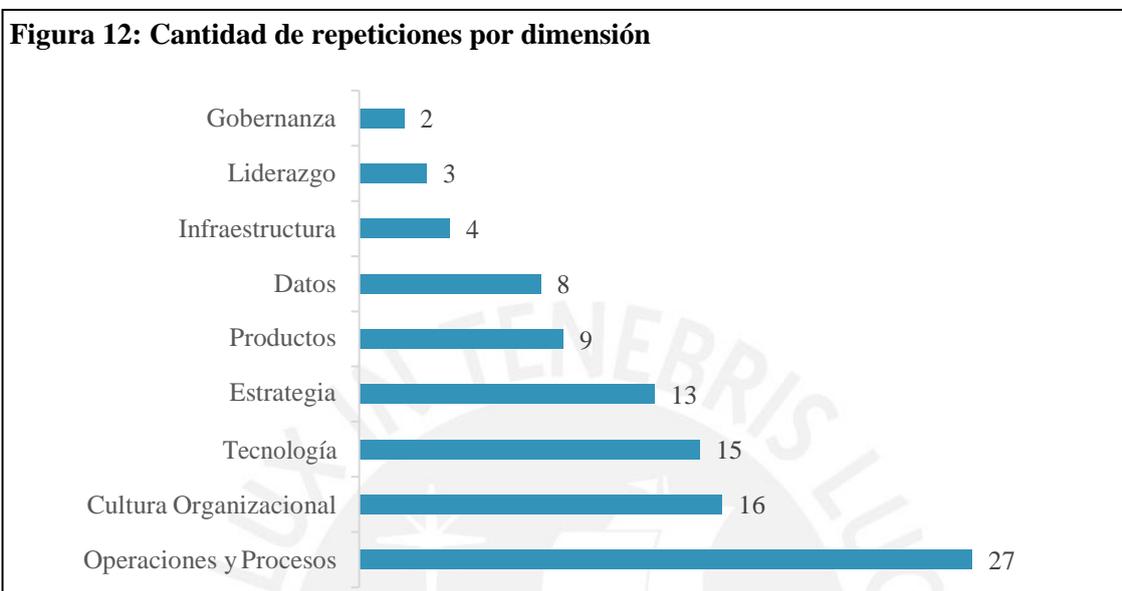
Criterio	Características		
	Audiencia	Interna	Externa
	Ejecutivos, Gerencia	Auditores, Socios	
Método de aplicación	Autoevaluación	Asistido por terceros	Personal certificado
Participantes	Gerencia	Trabajadores	Socios comerciales
Nivel de aplicación	Una entidad / Una región	Múltiples entidades / Una región	Múltiples entidades / múltiples regiones

Adaptado de De Bruin et al. (2005)

En tal sentido, la audiencia seleccionada fue interna, que incluye a los ejecutivos y gerencia. El método de aplicación es la autoevaluación, debido a que se buscó que el cuestionario sea respondido por los mismos encuestados. Para los participantes se consideró a la gerencia y trabajadores de mando medio, es decir, a miembros de organizaciones que ocupen puestos desde asistentes o analistas hasta cargos directivos, jefatura y gerencia general. Esto con la finalidad de recoger información confiable sobre la realidad de la organización con respecto a la adopción y conocimiento sobre la Industria 4.0. Por último, el nivel de aplicación del modelo es a múltiples entidades en múltiples regiones, considerando el objetivo de recopilar información de todas las organizaciones del país.

La fase 3, poblar, tiene como objetivo decidir el contenido del modelo. Con esta finalidad, se identificaron los componentes, subcomponentes y niveles de madurez del modelo. Además, se escogió la herramienta cuantitativa a utilizar y se realizó la validación de esta. Para la identificación de las dimensiones y subdimensiones del modelo, se revisaron y analizaron los principales modelos de madurez existentes a nivel mundial. De esta manera, se inició con la búsqueda de los términos en inglés “*Maturity Model*” e “*Industry 4.0*” en el portal de Scopus, clasificando los resultados en base a los autores más citados y mayor pertinencia del modelo de madurez o preparación. Así, se identificaron 15 modelos, los cuales fueron analizados, en base a los siguientes aspectos: autores, dimensiones o categorías y niveles de madurez (Anexo B). En base a esto, se seleccionó a 13 de ellos para profundizar en su análisis, agrupando las dimensiones de cada modelo en base a sus características en común con los otros. Como resultado de ello, se obtuvo las siguientes dimensiones: Cultura organizacional, Datos, Estrategia, Gobernanza, Infraestructura, Liderazgo, Productos y servicios, Tecnología, y Operaciones y procesos (Anexo C).

Tomando en cuenta que De Bruin et al. (2005) indica que seis dimensiones y cinco subdimensiones son adecuadas y que los modelos de madurez analizados, en su mayoría, poseen entre 5 a 6 dimensiones, se decidió escoger las seis de mayor repetición entre los autores analizados (ver Figura 12).



Asimismo, con el fin de recoger información sobre estas dimensiones, se vio conveniente utilizar un cuestionario (ver Anexo D) como herramienta cuantitativa para la recolección de datos. Así, este fue elaborado tomando como referencia los *ítems* incluidos en los modelos de madurez de Schumacher et al. (2016) y del VDMA et al. (2015), así como también las actividades de innovación empresarial presentadas en el Manual de Oslo (OCDE & Eurostat, 2018). Posteriormente, este cuestionario fue validado con un experto, quien brindó comentarios de forma sobre la formulación de las preguntas y consideró pertinente del contenido evaluado (Anexo E).

Además, en esta etapa se definieron los niveles de madurez (ver Tabla 4), utilizando un enfoque de abajo hacia arriba (*botton-up*), el cual consiste en determinar los requisitos y las medidas primero y, luego, elaborar las definiciones para reflejarlos. Esto en base a que existe evidencia suficiente sobre lo que representa la madurez para la Industria 4.0, por ende, “el enfoque se mueve primero a cómo se puede medir esto y luego construye definiciones sobre esta base” (De Bruin et al., 2005, p. 6). Asimismo, dentro de los modelos de madurez, un principio de diseño común es representar la madurez como una serie de etapas acumulativas donde las etapas superiores se basan en los requisitos de las etapas inferiores, con 5 representando una madurez alta y 1 baja (De Bruin et al., 2005). Por consiguiente, esta investigación mantuvo este mismo criterio para la definición de los niveles de madurez del modelo.

**Tabla 4: Niveles de madurez del modelo propuesto**

Nivel de madurez	Descripción
1 – Muy bajo	Existe un nulo o poco conocimiento sobre la Industria 4.0, no se aprovechan las tecnologías de la tendencia y no se considera su implementación en la organización.
2 – Bajo	Existe conocimiento superficial acerca de la Industria 4.0 y sus beneficios para la organización, por lo que se le considera importante y se tiene contemplada su implementación en el futuro.
3 – Medio	Existe una hoja de ruta definida para la implementación de la Industria 4.0 en la organización, pero esta aún no ha sido implementada por completo
4 – Alto	Ya se ha llevado a cabo actividades relacionadas a la Industria 4.0 dentro de algunas áreas o en las áreas clave de la organización, por un periodo menor a un año
5 – Muy alto	Ya se viene aplicando la Industria 4.0 y sus tecnologías asociadas en todas, o la mayoría, de las áreas de la organización por un periodo mayor a un año. Asimismo, se cuenta con un área especializada en Investigación y Desarrollo que busca mantener actualizada a la organización con respecto a las nuevas tendencias de su industria

Finalmente, para la fase 4, De Bruin et al. (2005) sugiere evaluar el constructo del modelo y el instrumento utilizado para conseguir validez y confiabilidad. Por un lado, la validez del constructo es representada por la existencia de validez de forma, evaluada durante la etapa de población del modelo a través de grupos focales y/o entrevistas y, como resultado, el modelo de madurez debe considerarse completo y preciso con respecto al alcance identificado. Asimismo, la validez del constructo requiere de la validez de contenido, la cual puede ser obtenida a través del alcance de la revisión de la literatura y amplitud del dominio cubierto. Al respecto, como se mencionó en la fase anterior, se validó el cuestionario elaborado con un experto y se procedió a aplicar las sugerencias recibidas. Además, para la validez de contenido, se ha revisado la literatura para asegurar que los ítems y dimensiones consideradas guarden relevancia con el tema.

Por otro lado, para De Bruin et al. (2005) también es necesario evaluar la validez del instrumento de evaluación para asegurar que mide lo que pretende, y la confiabilidad para asegurar que los resultados obtenidos sean precisos y repetibles. En este sentido, se realizó un análisis factorial confirmatorio para la evaluación de estos aspectos, cuyos resultados son detallados en el punto 3 del presente capítulo.

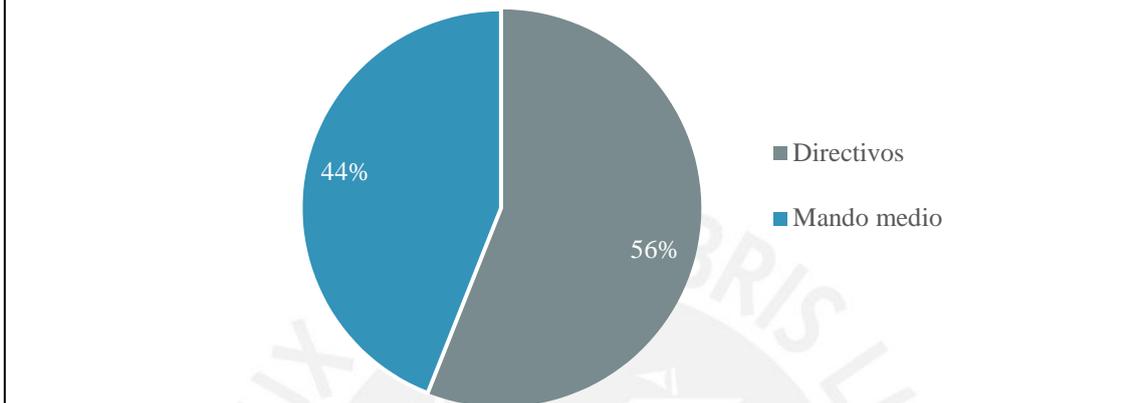
## **2 Análisis de resultados a través de estadística descriptiva**

Como parte del análisis de los resultados, se presentarán las características generales de la muestra como el cargo de los participantes, tipo y sectores de las organizaciones, localización, rango de ingresos, cantidad y rango de edad de sus trabajadores, años de operación y posición actual en el mercado. Asimismo, se expondrán los datos obtenidos sobre el conocimiento de la organización sobre Industria 4.0 y la razón de la no aplicación de esta en la organización, en caso no se dé. Luego, se mostrará un análisis descriptivo de cada una de las seis dimensiones consideradas para el modelo.

## 2.1. Características generales de la muestra

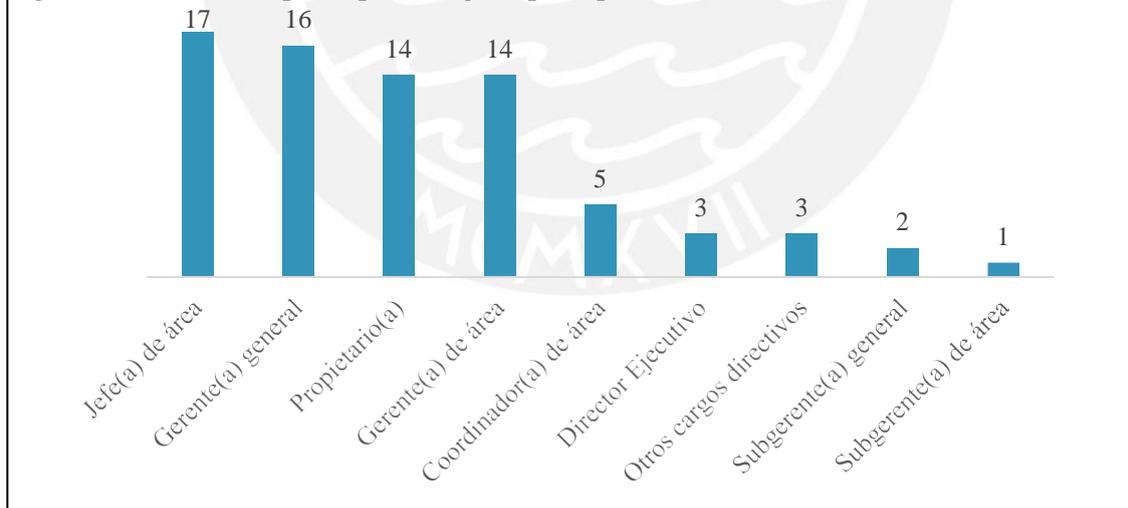
Como se mencionó, el cuestionario estaba dirigido a miembros de organizaciones que ocuparan, como mínimo, el puesto de asistentes. De esta forma, se presenta la Figura 13, en donde se puede ver que, de las 134 respuestas obtenidas, el 56% pertenecieron a personal de cargos directivos y el 44% a trabajadores de mando medio.

**Figura 13: Cantidad de participantes según tipo de cargo**

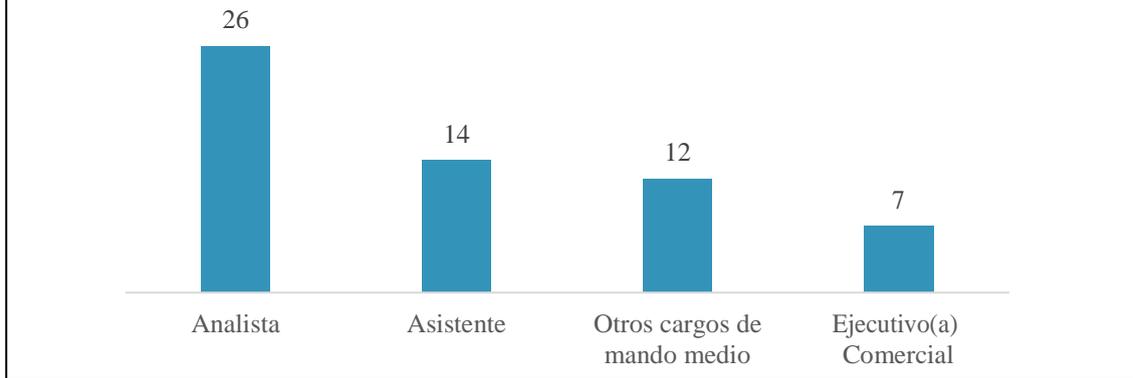


En cuanto a los puestos directivos, se contó con la participación, en su mayoría, de jefes de área, gerentes generales y de área, y propietarios, siendo 17, 16, 14 y 14 respectivamente. Mientras que, para los trabajadores de mando medio, los analistas (26) y asistentes (14) representaron la mayor parte de los encuestados (ver Figura 14 y 15).

**Figura 14: Cantidad de participantes según tipo de puesto directivo**

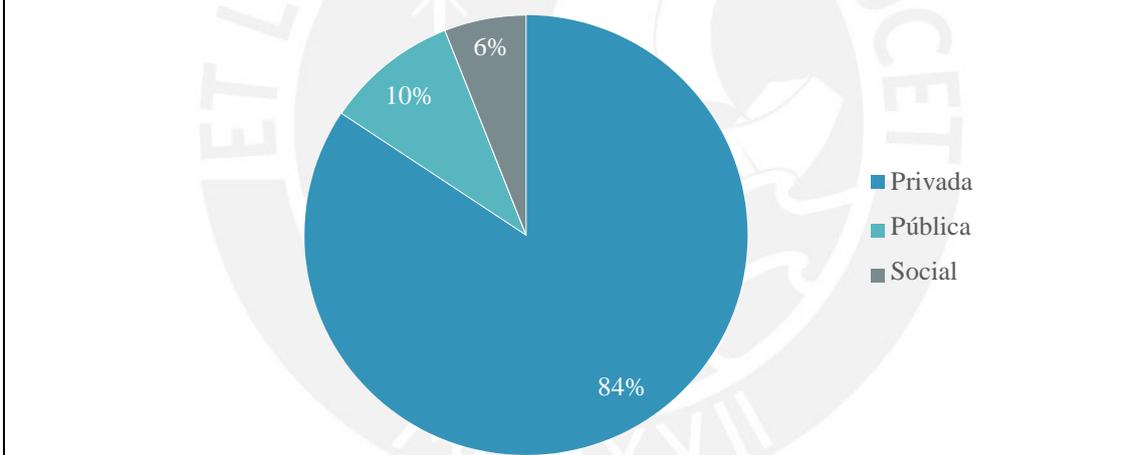


**Figura 15: Cantidad de participantes según tipo de puesto de mando medio**



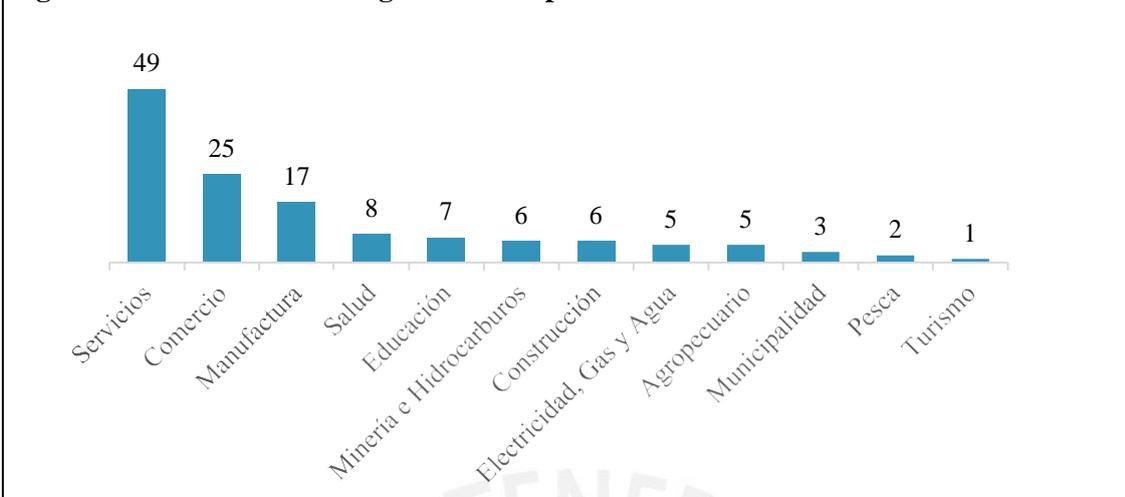
Por otro lado, la muestra se encuentra compuesta principalmente por colaboradores de empresas privadas (84%), sin embargo, teniendo en cuenta que el modelo está orientado a todo tipo de organizaciones, también se cuenta con la participación de representantes de instituciones públicas (10%) y organizaciones sociales (6%) (ver Figura 16).

**Figura 16: Distribución por tipo de organización**



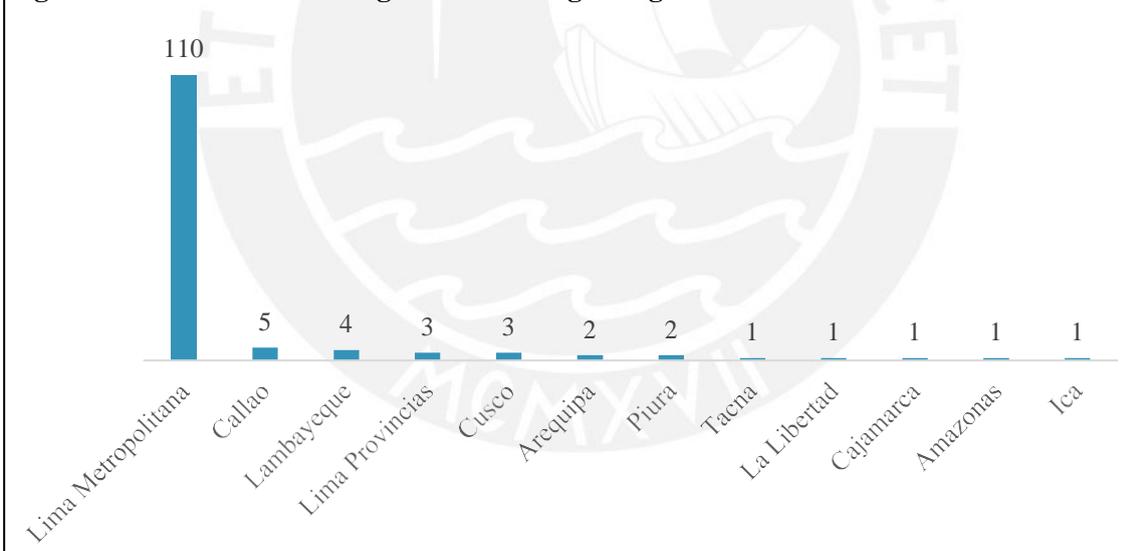
Asimismo, se buscó recoger información sobre las organizaciones de la mayor parte de sectores productivos y sociales del Perú. Por ello, tomando como referencia la clasificación de sectores del INEI, la Figura 17 muestra la información recogida sobre cada uno de ellos en el cuestionario. A partir de esta, se destaca que la muestra se encuentra compuesta en gran medida por organizaciones de los sectores de servicios, comercio y manufactura, de los cuales el sector servicios es el de mayor representación, con 50 respuestas. Cabe señalar también que, de estas 50 respuestas, el 40.82% corresponden a organizaciones del subsector financiero y seguros, el 18.37% al de telecomunicaciones y otros servicios de información, y el 16.33% a transporte, almacenamiento, correo y mensajería.

**Figura 17: Distribución de organizaciones por sectores**



En cuanto a la ubicación de las organizaciones, si bien inicialmente se buscaba contactar a instituciones de todas las regiones del país, solo se pudo tener alcance sobre 12 de estas (Figura 18). Sin embargo, se logró contar con 13 participantes de organizaciones que mantienen presencia en todo el territorio nacional.

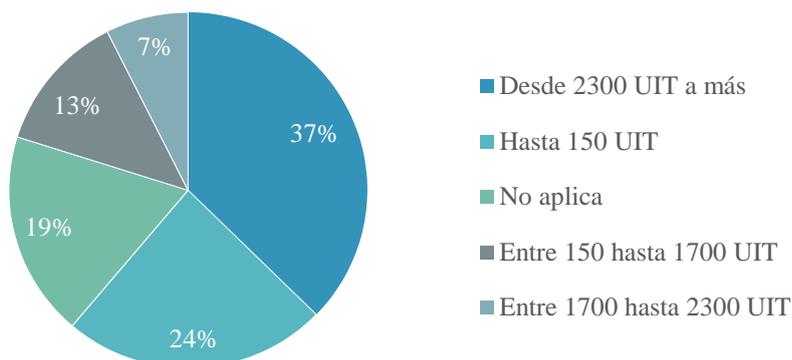
**Figura 18: Distribución de organizaciones según región de localización**



Se consultó también sobre el rango de ingresos. Al respecto, se obtuvo que el 24% de las organizaciones de los encuestados genera ingresos hasta por 150 UIT<sup>4</sup>, el 13% entre 150 a 1700 UIT, el 7% entre 1700 hasta 2300 UIT y el 37% desde 2300 UIT a más. Finalmente, para el 19% no aplica pues hacen referencia a las 13 organizaciones públicas y algunas del sector social.

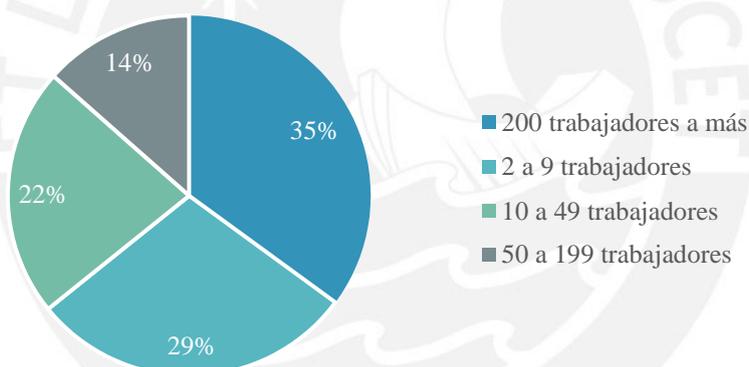
<sup>4</sup> Valor del UIT correspondiente al año 2021

**Figura 19: Distribución de organizaciones por rango de ingresos**

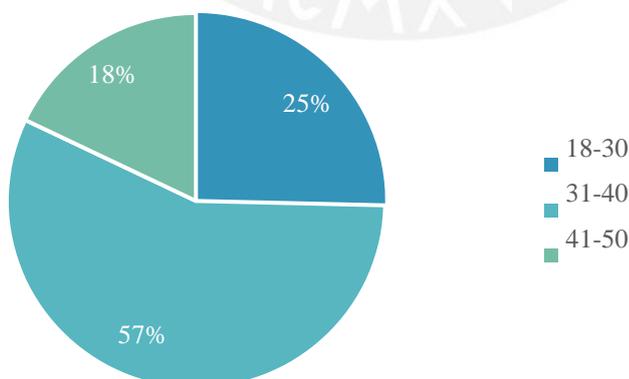


Con respecto a la cantidad de trabajadores, el 35% de los encuestados respondieron que su organización cuenta con más de 200 trabajadores, el 29% de 2 a 9 trabajadores, el 22% de 10 a 49 y el 14% de 50 a 199. Además, el rango de edad de los colaboradores en la mayoría de las organizaciones oscilaba entre 31 a 41 años (57%), mientras que el número disminuyó para el rango de 18 a 31 años (25%), y entre 41 y 50 fue del 18% (ver Figuras 20 y 21).

**Figura 20: Distribución de organizaciones por cantidad de trabajadores**

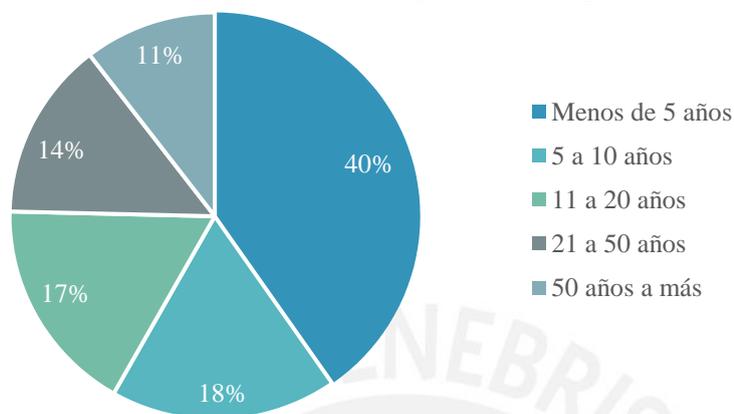


**Figura 21: Distribución de organizaciones por rango de edad de los trabajadores**



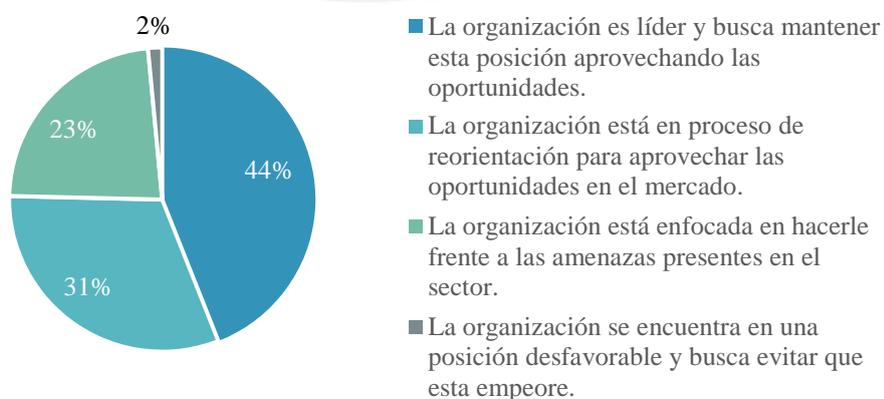
Concerniente a los años de operación de las organizaciones de los participantes, el 58% tenía menos de 10 años operando y el 11% eran organizaciones con más de 50 años de existencia (Figura 22).

**Figura 22: Distribución de organizaciones según años de operación**



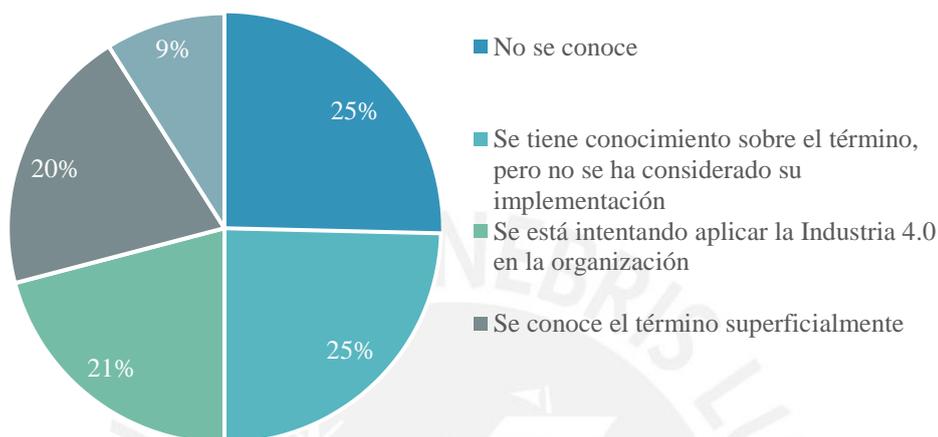
En adición, se buscó conocer sobre la posición de estas en el mercado, para lo cual se utilizaron las estrategias de la matriz de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA). En David (2013) se presentan cuatro estrategias: Ofensiva, en donde se utilizan las fortalezas internas de la organización para aprovechar las oportunidades externas; Defensiva, la cual hace uso de las fortalezas para evitar o reducir el impacto de las amenazas externas; Reorientación, que implica superar las debilidades internas aprovechando las oportunidades externas; y Supervivencia, cuyo propósito es reducir las debilidades internas y evitar las amenazas externas. En este sentido, se planteó una opción referente a cada estrategia mencionada, obteniéndose que el 44% de las organizaciones de los encuestados mantenían una estrategia ofensiva, el 31% se encontraba en proceso de reorientación, el 23% seguía una estrategia defensiva y el 2% actuaba bajo la estrategia de supervivencia.

**Figura 23: Distribución de organizaciones según posición actual en el mercado**



Finalmente, antes de evaluar la madurez de las organizaciones, se consultó sobre el conocimiento acerca de la Industria 4.0 en estas, encontrándose que el 25% de los encuestados manifestaron que en sus organizaciones no se conocía el término y otro 25% expresó que se cuenta con conocimiento sobre este más no se ha considerado la implementación en su institución.

**Figura 24: Distribución de organizaciones según su conocimiento acerca de la Industria 4.0**



Asimismo, en las organizaciones que no están aplicando las tecnologías de la Industria 4.0, esto se debe principalmente al desconocimiento sobre el tema y, en menor medida, a los escasos incentivos brindados por el Estado.

**Figura 25: Distribución de organizaciones según motivo de no aplicación de la Industria 4.0**



## 2.2. Análisis descriptivo por dimensión

En este apartado, se mostrará un análisis descriptivo de cada una de las seis dimensiones consideradas para el modelo: operaciones y procesos, tecnología, estrategia, cultura organizacional, productos y servicios, y datos. Para ello, se operacionalizó estas dimensiones con sus respectivas variables por ítem en el Anexo F.

### 2.2.1. Dimensión Operaciones y Procesos

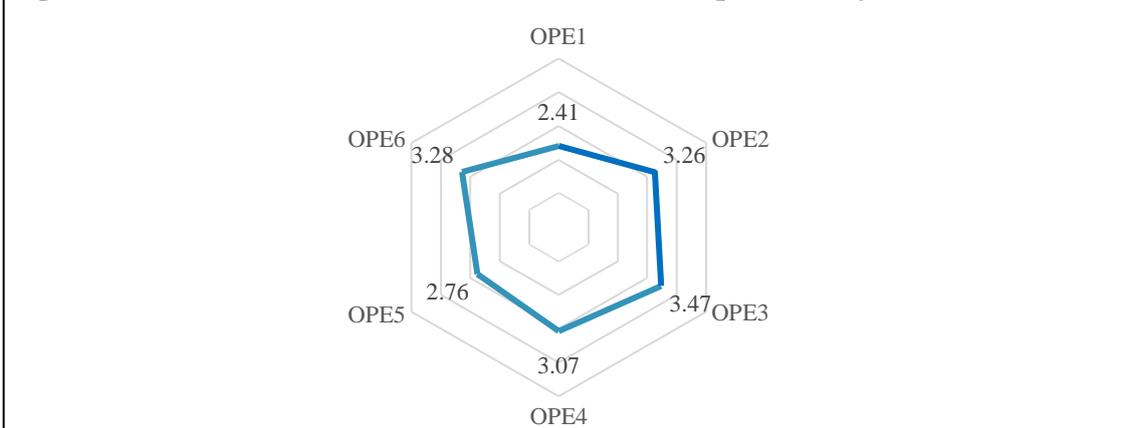
En primer lugar, según los resultados obtenidos para la dimensión de Operaciones y Procesos (ver Tabla 5), se puede ver que la variable OPE1 presenta un mayor porcentaje de concentración en el nivel 1. Esto indica que el 44.8% de las organizaciones en las que trabajan los encuestados, mantienen las comunicaciones entre áreas para la planificación y asignación de recursos, a través de medios tradicionales. Con respecto a la variable OPE2, referente a la disponibilidad de información en tiempo real sobre la cadena de suministro, el 43.30% mencionó que sus organizaciones cuentan con información en tiempo real en algunas partes de la cadena de suministro. Para el OPE3, el 31.30% mantiene comunicaciones con los socios y/o proveedores involucrados en la cadena de valor en algunas etapas, mientras que el 28.40% en todas. En cuanto al OPE4, el 32.10% de participantes indicaron que algunas actividades del control de inventarios de su institución han sido automatizadas. Asimismo, el OPE5 permite conocer que el 36.60% de la muestra cuenta con ERP. Por último, a partir del OPE6, se evidencia que el 39.6% monitorea y almacena información sobre los tiempos de algunas actividades en su cadena de valor.

**Tabla 5: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Operaciones y Procesos por nivel de madurez**

Variable	Valores				
	1	2	3	4	5
OPE1	44.80%	9.70%	17.20%	16.40%	11.90%
OPE2	11.20%	17.20%	17.20%	43.30%	11.20%
OPE3	10.40%	20.10%	9.70%	31.30%	28.40%
OPE4	23.10%	14.90%	11.90%	32.10%	17.90%
OPE5	29.90%	17.20%	8.20%	36.60%	8.20%
OPE6	17.90%	14.20%	9%	39.60%	19.40%

Con respecto a la media, se obtuvieron valores entre 2.41 y 3.47 (ver Figura 26). Las medias más elevadas correspondieron a las variables OPE 2 y OPE 3 con 3.26 y 3.47 respectivamente, lo que señala que, en promedio, las organizaciones de los encuestados cuentan con una estrategia para contar con información en tiempo real de su cadena de suministro, y para comunicarse con los socios de la cadena de valor. Por su parte, la variable OPE 1 fue la de media más baja con 2.42; es decir, en promedio, se considera automatizar las comunicaciones entre áreas de la organización, con el fin de planificar anticipadamente los recursos, en el largo plazo.

**Figura 26: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Operaciones y Procesos**



### **2.2.2. Dimensión Tecnología**

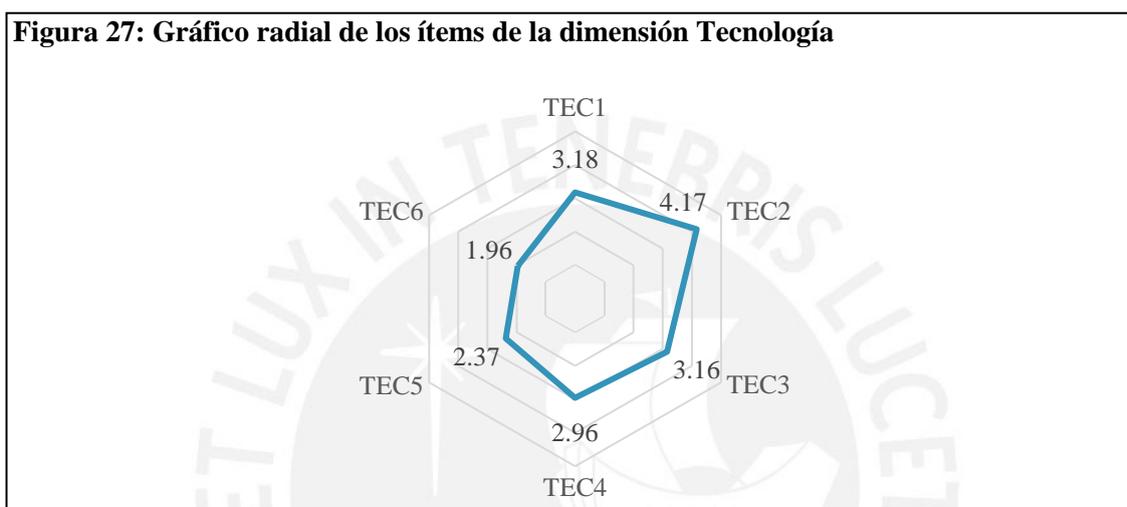
En cuanto a la dimensión de Tecnología, se recogió lo siguiente (Tabla 6). En primer lugar, en la variable TEC1, el 40.30% de los encuestados señaló que el nivel de actualización de la maquinaria con la que cuenta su organización es regular. En segundo lugar, gran parte (85.80%) cuenta con una conexión a internet estable en las instalaciones de su organización. En tercer lugar, el 33.60% indicó que algunas máquinas o sistemas cuentan con la capacidad para ser controlados de manera remota, mientras que el 24.60% señaló que su organización no cuenta con ninguna de estas y que tampoco se tiene previsto adquirirlas o desarrollarlas. En cuarto lugar, en la variable TEC4, el 32.10% indicó que algunas de sus máquinas o sistemas pueden conectarse e interactuar entre ellas, mientras que el 29.10% señaló que, en sus organizaciones, las máquinas y sistemas no cuentan con dicha capacidad y que tampoco se tiene previsto adquirir o desarrollarlas. En quinto lugar, el 39.60% respondió que sus empresas no cuentan con sensores inteligentes ni se considera implementarlos. Finalmente, en más de la mitad de las organizaciones, específicamente en el 57.50%, los procesos de fabricación se dan de manera tradicional.

En cuanto a las medias obtenidas en estas variables, estas presentan resultados muy diferentes, con valores entre 1.96 y 4.17. Las medias más elevadas se encuentran en las variables TEC2 y TEC1 con 4.17 y 3.18 respectivamente, lo que señala que, en promedio, las organizaciones de la que forman parte los encuestados cuentan con una conexión a internet estable y el nivel de actualización de su maquinaria con respecto a las últimas tendencias de su industria es regular. Por otro lado, la variable TEC6 presenta la media más baja, con 1.96, lo que significa que, en promedio, los procesos de fabricación son tradicionales y se espera en el largo plazo poder implementar la manufactura aditiva en sus procesos de fabricación.

**Tabla 6: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Tecnología por nivel de madurez**

Variable	Valores				
	1	2	3	4	5
TEC1	6.70%	16.40%	40.30%	25.40%	11.20%
TEC2	3.70%	5.20%	5.20%	41.80%	44.00%
TEC3	24.60%	11.90%	8.20%	33.60%	21.60%
TEC4	29.10%	14.90%	5.20%	32.10%	18.70%
TEC5	39.60%	20.90%	9.70%	23.10%	6.70%
TEC6	57.50%	15.70%	7.50%	12.70%	6.70%

**Figura 27: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Tecnología**



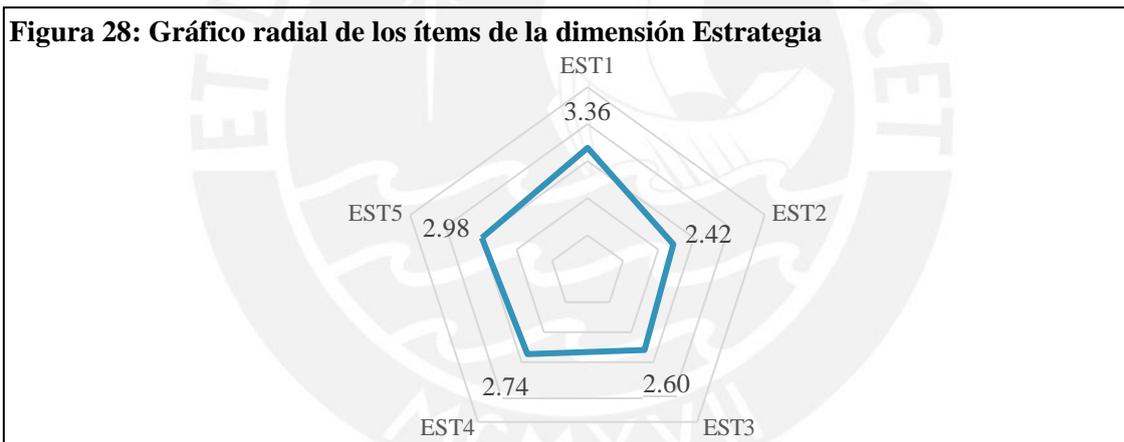
### 2.2.3. Dimensión Estrategia

En esta dimensión se puede observar que en la variable EST1, el 31.10% señaló que la adopción de la Industria 4.0 como parte de la estrategia de su organización es de regular o mediana importancia para los líderes de esta. Para la EST2, el 29.90% manifestó que su entidad no cuenta con una hoja de ruta a seguir para la implementación de actividades relacionadas a la Industria 4.0 y que tampoco se tiene previsto para el futuro. En esta misma línea, el 31.30% de los encuestados comentó que, en sus organizaciones tampoco cuentan con una hoja de ruta; no obstante, para el largo plazo se tiene planeada la elaboración de una. Asimismo, para la variable EST3, el 33.60% indicó que la estrategia de su organización y/o su modelo de negocio se encuentran mediana o regularmente alineados a la Industria 4.0. Por su parte, el 32.80% de participantes comentó que existe una poca alineación entre la Industria 4.0 y su estrategia. En la variable EST4, el 26.10% respondió que sus organizaciones han realizado inversiones en Investigación y Desarrollo. Y un porcentaje similar, 25.40%, no realiza, pero se plantea empezar a invertir en I+D en el largo plazo. Finalmente, para la variable EST5, las inversiones en materia de tecnología del 38.10% de la muestra responden a una estrategia de digitalización.

**Tabla 7: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Estrategia por nivel de madurez**

Variable	Valores				
	1	2	3	4	5
EST1	5.20%	16.40%	31.10%	29.90%	16.40%
EST2	29.90%	31.30%	12.70%	19.40%	6.70%
EST3	14.90%	32.80%	33.60%	14.90%	3.70%
EST4	23.90%	25.40%	14.20%	26.10%	10.40%
EST5	14.20%	26.90%	13.40%	38.10%	7.50%

Asimismo, con respecto a las medias en estos ítems (Figura 28), se observa que aquellos que presentan una mayor media son EST1 y EST 5, con 3.36 y 2.98 respectivamente. Esto implica que, en promedio, los líderes de las organizaciones le dan una importancia regular a la adopción de la Industria 4.0 como parte de su estrategia y que se considera que las inversiones en tecnología se realizan en base a una estrategia establecida con relación a la digitalización. Además, el que obtuvo la menor media fue EST2, con un resultado de 2.42, evidenciando así que las organizaciones de los encuestados no cuentan, en promedio, con una hoja de ruta o planificación a seguir para adaptarse a la Industria 4.0.



### 2.2.4. Dimensión Cultura

Con respecto a esta dimensión, los resultados pertenecen en su mayoría al nivel 4 de madurez, a excepción de las variables CUL2 y CUL3, cuyos porcentajes más alto se encuentra en el nivel 3. Ahora bien, yendo a detalle por cada *ítem*, la variable CUL1 muestra que el 40.30% señaló estar de acuerdo con que sus líderes motivan a sus equipos hacia la implementación de la Industria 4.0. Asimismo, para el 30.60%, ocasionalmente su organización ofrece programas de formación continua a los colaboradores, con el objetivo de mantenerlos actualizados con respecto a las últimas tendencias de su industria. Siguiendo con la formación, se observa que el 31.30% menciona que su organización ofrece capacitaciones en herramientas tecnológicas ocasionalmente. En esta misma línea, gracias al CUL4 se recogió que el 44.70% considera que las competencias de los colaboradores de su organización en materia de TICs se encuentran

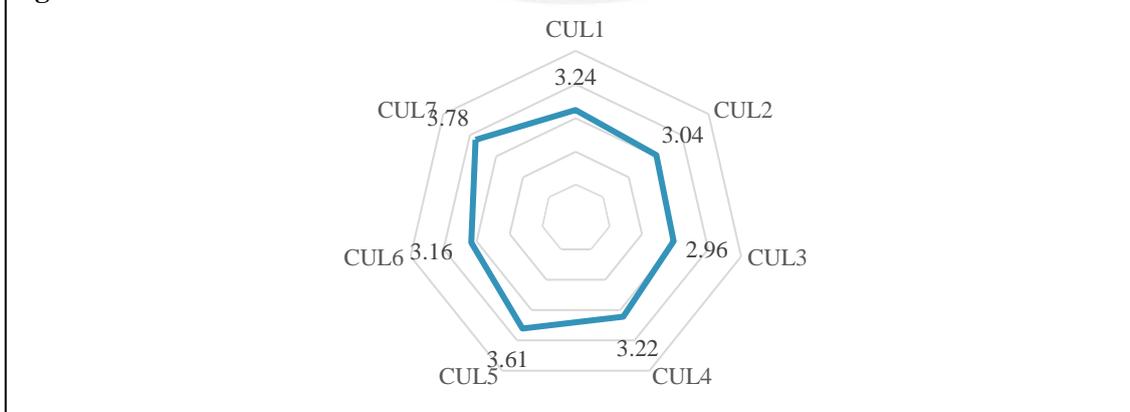
actualizadas. Por otro lado, los resultados de la variable CUL5 muestran que el 67.9% de los encuestados respondieron que sus empresas fomentan espacios de intercambio de conocimientos entre miembros. Mientras que, en la variable CUL6, el 44.7% concuerda en que sus organizaciones ponen a disposición espacios y herramientas que fomenten la cultura de la innovación. Además, para la variable CUL7, el 69.4% considera que los colaboradores de la organización están alineados con la cultura y estrategia de la empresa.

**Tabla 8: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Cultura por nivel de madurez**

Variable	Valores				
	1	2	3	4	5
CUL1	10.40%	11.90%	29.10%	40.30%	8.20%
CUL2	9.70%	23.10%	30.60%	26.10%	10.40%
CUL3	9.00%	26.90%	31.30%	24.60%	8.20%
CUL4	6.00%	21.60%	27.60%	34.30%	10.40%
CUL5	8.20%	6.70%	17.20%	51.50%	16.40%
CUL6	9.70%	23.10%	22.40%	31.30%	13.40%

Por otro lado, en la Figura 29, se pueden apreciar las medias obtenidas para los ítems de esta dimensión, los cuales se encuentran entre 2.96 y 3.61. Dentro de estas, destacan los ítems CUL5 y CUL7 por tener las medias más altas, con 3.61 y 3.78 cada una. Ello indica que, en promedio, los participantes no se muestran ni de acuerdo ni en desacuerdo con respecto a que sus organizaciones permiten el intercambio de conocimientos entre miembros, y no se está a favor ni en contra con que los colaboradores de sus organizaciones se encuentren alineados con la cultura y estrategia de la empresa. Por su parte, CUL3 es la variable con menor media, con un 2.96, lo que indica que, en promedio, las organizaciones evaluadas ocasionalmente ofrecen programas en herramientas tecnológicas a sus colaboradores.

**Figura 29: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Cultura**



### 2.2.5. Dimensión Productos y Servicios

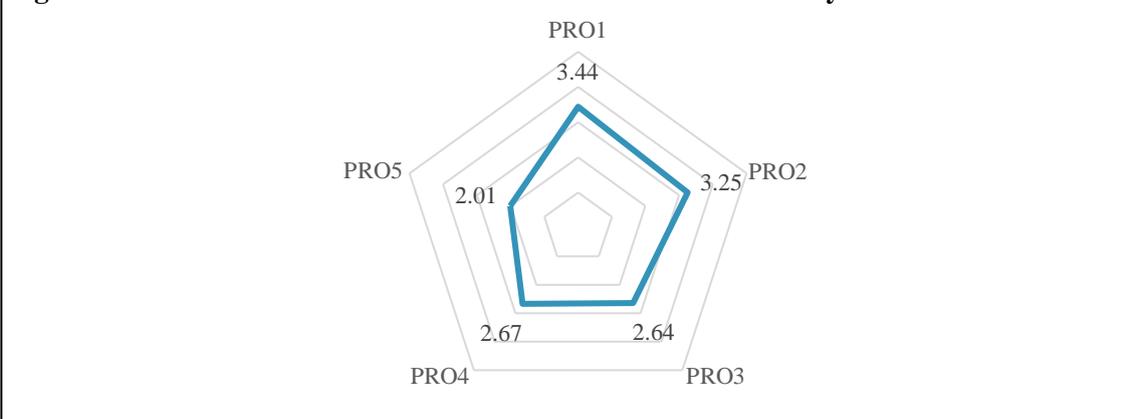
Para Productos y Servicios, en primer lugar, los resultados muestran que en las variables PRO1 y PRO2, el 42.50% y 37.3% de los encuestados, respectivamente, señalaron que los clientes o usuarios pueden adquirir los productos y/o servicios brindados por su organización o acceder al servicio post venta, a través de al menos un canal digital, ya sea por redes sociales, página web o aplicaciones móviles. En segundo lugar, en cuanto al uso de la inteligencia artificial para la atención del cliente/usuario (PRO3), el 29.90% respondió que no se utiliza esta tecnología en ningún punto de contacto con el cliente. En tercer lugar, sobre el nivel de personalización brindado, el 33.6% de los encuestados señaló que los clientes solamente tienen la opción de escoger entre un catálogo de productos o servicios; de esta manera, no tienen acceso a poder diseñar o tener alguna participación sobre su pedido. Finalmente, más de la mitad de los participantes (58.20%) afirmó que sus productos o servicios no tienen la capacidad de integrarse con otros artefactos ni se tiene previsto incluir esta funcionalidad (Tabla 9).

**Tabla 9: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Productos y Servicios por nivel de madurez**

Variable	Valores				
	1	2	3	4	5
PRO1	8.20%	3.00%	42.50%	29.10%	17.20%
PRO2	10.40%	10.40%	37.30%	27.60%	14.20%
PRO3	29.90%	17.70%	17.20%	26.10%	8.20%
PRO4	18.70%	33.60%	23.10%	11.20%	13.40%
PRO5	58.20%	11.90%	9.70%	11.20%	9.00%

Asimismo, con respecto a las medias de los *ítems* que componen esta dimensión, la Figura 30 muestra que estos valores oscilan entre 2.01 y 3.44, siendo estos los valores para las variables PRO5 y PRO1. Es así como, se puede señalar que el aspecto de mayor dificultad para implementar por parte de las organizaciones de los participantes es la capacidad para integrar sus productos o servicios con artefactos tales como Siri, Alexa, Cortana, entre otros asistentes virtuales.

**Figura 30: Gráfico radial de los ítems de la dimensión Productos y Servicios**



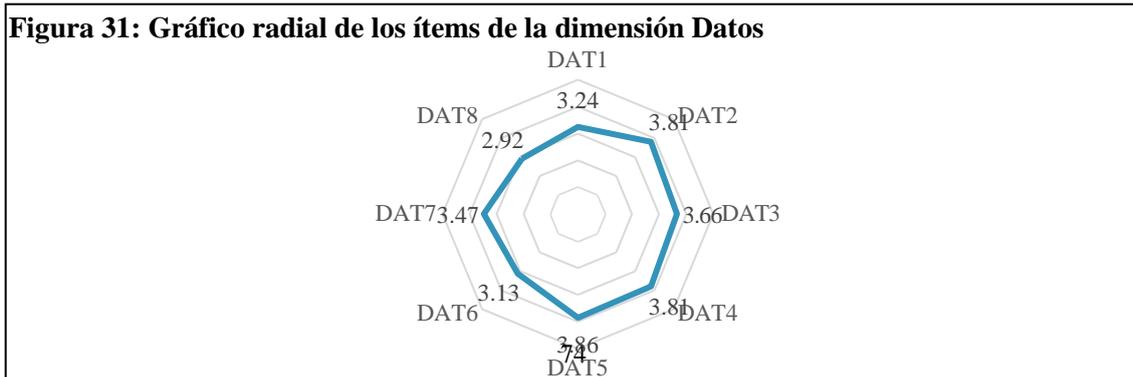
### 2.2.6. Dimensión Datos

Finalmente, a partir de la Tabla 10, se muestra una mayor concentración de respuestas en el nivel 4. De esta manera, se recogió que el 34.30% de las organizaciones recoge información de los clientes y usuarios a través de internet en algunos puntos de contacto con ellos. En adición, más del 60% analiza data histórica para planificar la producción y estimar su demanda. Así mismo, un gran porcentaje hace uso del análisis de datos históricos con la finalidad de segmentar campañas publicitarias (68.70%), para la implementación de mejoras de procesos (73.10%) y mejorar productos o servicios (76.10%). En cuanto a la variable DAT6, sobre los Sistemas de Gestión de Seguridad, el 33.60% manifestó que su empresa o institución se encuentra en proceso de desarrollo de unos. Además, un 28.40% realizan copias de seguridad para respaldar la información de áreas claves, utilizando almacenamiento online; mientras que aún un 11.20% guarda su información en discos duros o USB. Concerniente a DAT8, 30.60% de organizaciones de la muestra comenta que se encuentran implementando el vínculo automático con programas de análisis de datos, así esto permite que se analice la información en tiempo real.

**Tabla 10: Distribución porcentual de los ítems de la dimensión Datos por nivel de madurez**

Variable	Valores				
	1	2	3	4	5
DAT1	19.40%	11.90%	14.20%	34.30%	20.10%
DAT2	6.70%	7.50%	10.40%	48.50%	26.90%
DAT3	6.70%	9.70%	14.90%	47.80%	20.90%
DAT4	3.00%	8.20%	15.70%	50.70%	22.40%
DAT5	3.70%	5.20%	14.90%	53.70%	22.40%
DAT6	12.70%	22.40%	17.90%	33.60%	13.40%
DAT7	11.20%	11.20%	23.10%	28.40%	26.10%
DAT8	18.70%	25.40%	13.40%	30.60%	11.90%

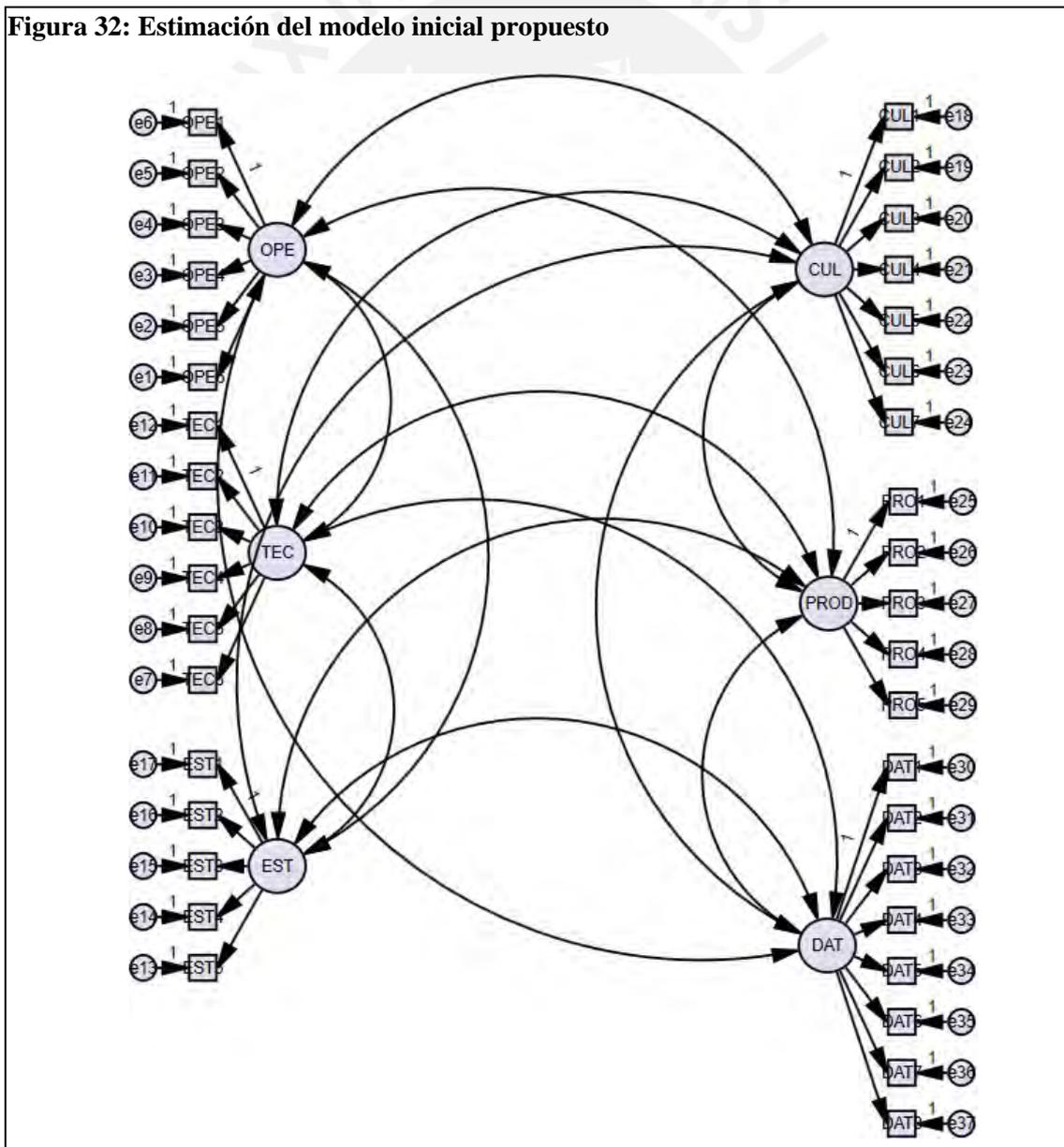
Por otro lado, la Figura 31 presenta las medias por variable. En esta se puede identificar que las variables han obtenido un puntaje similar entre ellas, a diferencia de DAT8, que implica la vinculación con programas de análisis de datos de manera automática. Así, este es uno de los principales retos para las organizaciones de los participantes del cuestionario.



### 3. Análisis Factorial Confirmatorio

Después de la recolección de la información, se aplicó un análisis factorial confirmatorio con la finalidad de evaluar la validez y fiabilidad de las dimensiones propuestas en el modelo. Como se mencionó en el marco metodológico, la validez convergente se presenta evaluando la Varianza Media Extraída (AVE) y la fiabilidad del constructo (CR), y la validez discriminante con el Ratio de Correlación HTMT. De esta manera, en primer lugar, se hizo uso del programa IBM SPSS Statistics 27, en donde se procesaron y clasificaron las variables. El análisis de estas se llevó a cabo en el programa IBM SPSS AMOS 27, el cual permitió representar gráficamente el modelo y evaluar la validez convergente y discriminante, cuyos resultados derivaron en ajustes necesarios al modelo. La ruta seguida desde el modelo inicial (Figura 32) hasta el final (Figura 33) será presentada en esta sección.

Figura 32: Estimación del modelo inicial propuesto



### 3.1. Modelo inicial

En la Figura 32 se presenta la representación gráfica del modelo inicial, que muestran las 6 dimensiones del modelo con sus correspondientes 37 ítems, y sus errores. Los óvalos en el gráfico representan las variables no observadas, es decir, las variables Operaciones y Procesos (OPE), Tecnología (TEC), Estrategia (EST), Cultura Organizacional (CUL), Productos y Servicios (PRO) y Datos (DAT). Asimismo, los rectángulos del gráfico hacen referencia a las variables observadas, las cuales componen las preguntas realizadas en el cuestionario, o también llamadas ítems. Por último, los círculos de la imagen corresponden a las variables error, que indica que cada ítem contiene un margen de error.

Para considerar un nivel de confianza de 95% o un nivel de significancia menor a 0.05, el valor del P-Value debe ser menor a 0.05. De lo contrario, se demostraría que la relación entre las variables no es significativa. Cabe mencionar que, los tres asteriscos (\*\*\*) señalan que el valor obtenido es cercano a cero. En base a esto, se presenta la Tabla 11, la cual muestra que todas las variables no observables mantienen una relación significativa entre ellas.

**Tabla 11: Relaciones entre las variables no observadas del Modelo inicial**

Relación	Estimado	S.E.	C.R.	P-Value
OPE ↔ TEC	0.569	0.117	4.855	***
OPE ↔ EST	0.436	0.101	4.306	***
OPE ↔ CUL	0.290	0.080	3.626	***
OPE ↔ PROD	0.356	0.091	3.919	***
OPE ↔ DAT	0.570	0.131	4.353	***
TEC ↔ EST	0.455	0.091	4.988	***
TEC ↔ CUL	0.377	0.080	4.705	***
TEC ↔ PROD	0.330	0.077	4.280	***
TEC ↔ DAT	0.538	0.110	4.878	***
EST ↔ CUL	0.322	0.074	4.348	***
EST ↔ PROD	0.262	0.067	3.914	***
EST ↔ DAT	0.413	0.095	4.329	***
CUL ↔ PROD	0.273	0.068	3.996	***
CUL ↔ DAT	0.460	0.102	4.525	***
PROD ↔ DAT	0.342	0.086	3.962	***

Asimismo, se elaboró este análisis de significancia para las variables observadas (ver Anexo G) obteniéndose que, para su respectiva variable no observada, todas resultaron ser significativas para el modelo. Ello pues el P-Value obtenido fue cercano a cero.

Una vez visto esto, se procedió a evaluar la existencia de validez convergente a través del CR de las dimensiones. Los resultados se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12: Análisis de CR de las dimensiones del Modelo inicial**

Criterio de aceptación	Dimensión	CR obtenido	Conclusión
>= 0.7	Operaciones y Procesos	0.834	Se acepta
	Tecnología	0.815	Se acepta
	Estrategia	0.842	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.879	Se acepta
	Productos y Servicios	0.760	Se acepta
	Datos	0.877	Se acepta

Al evaluar el AVE (Tabla 13), se encontró que solamente las variables Estrategia y Cultura Organizacional cumplen con el criterio de aceptación. Por lo tanto, es necesario realizar un ajuste al modelo eliminando aquellos ítems con bajo nivel de valor estimado (Anexo G).

**Tabla 13: Análisis del AVE de las dimensiones del Modelo inicial**

Criterio de aceptación	Dimensión	CR obtenido	Conclusión
>= 0.5	Operaciones y Procesos	0.459	No aceptable
	Tecnología	0.433	No aceptable
	Estrategia	0.518	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.513	Se acepta
	Productos y Servicios	0.390	No aceptable
	Datos	0.474	No aceptable

Con respecto a la validez discriminante, un ratio HTMT menor o igual a 0.85 indica la presencia de esta validez. Al respecto, según la Tabla 14, se evidencia que las dimensiones Tecnología y Estrategia son estadísticamente indistinguibles, debido a que tienen un valor de 0.880, la cual rechaza la existencia de este tipo de validez para las dimensiones en cuestión.

**Tabla 14: Análisis HTMT de las dimensiones del Modelo inicial**

	Operaciones	Tecnología	Estrategia	Cultura	Productos	Datos
Operaciones						
Tecnología	0.847					
Estrategia	0.768	0.880				
Cultura	0.493	0.721	0.738			
Productos	0.719	0.739	0.675	0.672		
Datos	0.790	0.848	0.763	0.833	0.722	

### 3.2. Primer ajuste

Como se mencionó en el apartado anterior, el AVE de las dimensiones Operaciones y Procesos, Tecnología, Productos y Servicios y Datos eran menores a 0.5, incumpliendo el criterio de aceptación. Por ello, se procedió a eliminar los ítems OPE3, TEC2, PRO1 y DAT1. Así, se obtuvo lo siguiente.

En cuanto al CR, si bien este disminuyó en comparación con los resultados del modelo inicial, los valores se mantuvieron por encima de lo aceptado.

**Tabla 15: Análisis de CR de las dimensiones del primer ajuste del Modelo**

Criterio de aceptación	Dimensión	CR Modelo inicial	CR Primer ajuste	Conclusión
≥ 0.7	Operaciones y Procesos	0.834	0.830	Se acepta
	Tecnología	0.815	0.818	Se acepta
	Estrategia	0.842	0.841	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.879	0.879	Se acepta
	Productos y Servicios	0.760	0.737	Se acepta
	Datos	0.877	0.871	Se acepta

En cambio, en cuanto al AVE, este criterio presentó una mejora para las dimensiones Tecnología, Productos y Servicios, y Datos. Sin embargo, estas aún no alcanzan el valor necesario para cumplir con el criterio (Tabla 16).

**Tabla 16: Análisis del AVE de las dimensiones del primer ajuste del Modelo**

Criterio de aceptación	Dimensión	AVE Modelo inicial	AVE Primer ajuste	Conclusión
≥ 0.5	Operaciones y Procesos	0.459	0.496	No aceptable
	Tecnología	0.433	0.478	No aceptable
	Estrategia	0.518	0.517	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.513	0.513	Se acepta
	Productos y Servicios	0.390	0.418	No aceptable
	Datos	0.474	0.493	No aceptable

Referente al ratio de correlación HTMT, se observa un incremento en el indicador de Estrategia y Tecnología, alcanzando un valor de 0.903, número mayor al aceptable.

**Tabla 17: Análisis HTMT de las dimensiones del primer ajuste del Modelo**

	Operaciones	Tecnología	Estrategia	Cultura	Productos	Datos
Operaciones						
Tecnología	0.846					
Estrategia	0.744	0.903				
Cultura	0.473	0.695	0.738			
Productos	0.729	0.805	0.724	0.693		
Datos	0.782	0.805	0.759	0.823	0.7	

En este sentido, a partir de lo encontrado, se requiere seguir ajustando el modelo con la finalidad de mejorar en el ratio de HTMT y AVE.

### 3.3. Segundo ajuste

Aquí se procede a retirar los ítems OPE1, TEC6, PRO2 y DAT7. Con este ajuste, el CR obtenido aumenta en cada dimensión, a excepción de Operaciones y Procesos, en donde disminuye de 0.830 a 0.819. No obstante, esto no representa un problema para la validez del modelo.

**Tabla 18: Análisis de CR de las dimensiones del segundo ajuste del Modelo**

Criterio de aceptación	Dimensión	CR Primer ajuste	CR Segundo ajuste	Conclusión
>= 0.7	Operaciones y Procesos	0.830	0.819	Se acepta
	Tecnología	0.818	0.827	Se acepta
	Estrategia	0.841	0.842	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.879	0.879	Se acepta
	Productos y Servicios	0.737	0.745	Se acepta
	Datos	0.871	0.873	Se acepta

Con respecto al AVE, este indicador presenta un crecimiento que permite aceptar las dimensiones Operaciones y Procesos, Tecnología y Datos. A pesar de ello, la dimensión Productos y Servicios aún presenta dificultades para alcanzar el umbral de aceptación, obteniendo el valor de 0.495.

**Tabla 19: Análisis del AVE de las dimensiones del segundo ajuste del Modelo**

Criterio de aceptación	Dimensión	AVE Primer ajuste	AVE Segundo ajuste	Conclusión
>= 0.5	Operaciones y Procesos	0.496	0.532	Se acepta
	Tecnología	0.478	0.545	Se acepta
	Estrategia	0.517	0.518	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.513	0.513	Se acepta
	Productos y Servicios	0.418	0.495	No aceptable
	Datos	0.493	0.533	Se acepta

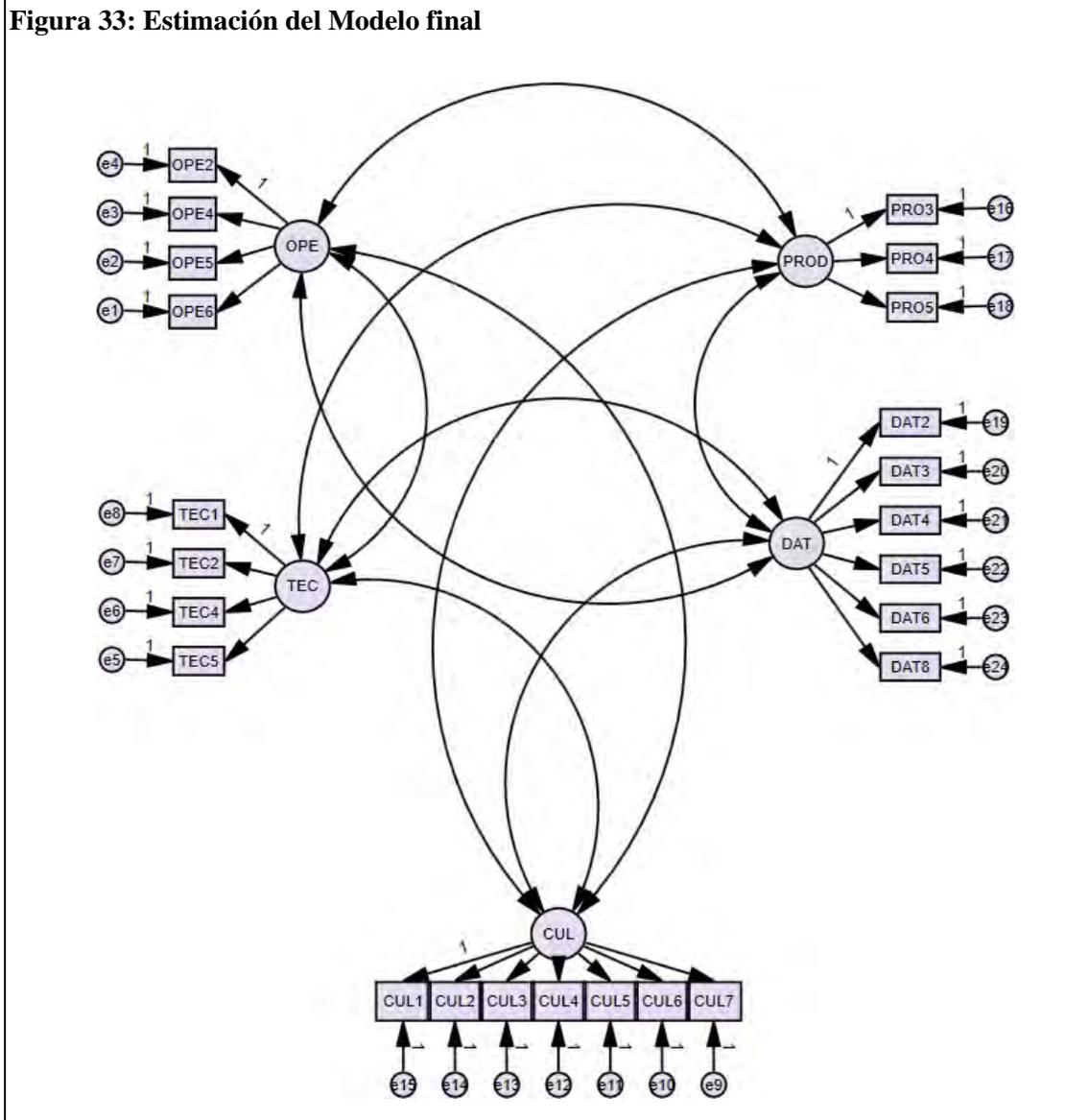
Por su parte, los resultados del análisis HTMT para este nuevo ajuste arrojan que, para el indicador de Tecnología y Estrategia, si bien este ha disminuido su valor con respecto al ajuste anterior, aún no alcanza el valor necesario para ser aceptable, siendo estadísticamente indistinguibles. Por ello, es necesario eliminar alguna de estas. De esta manera, tomando en cuenta el AVE menor de Estrategia, se optó por eliminar esta dimensión del modelo.

**Tabla 20: Análisis HTMT de las dimensiones del segundo ajuste del Modelo**

	Operaciones	Tecnología	Estrategia	Cultura	Productos	Datos
Operaciones						
Tecnología	0.817					
Estrategia	0.734	0.878				
Cultura	0.444	0.678	0.738			
Productos	0.663	0.737	0.723	0.635		
Datos	0.738	0.786	0.761	0.816	0.636	

### 3.4. Modelo final

Con la eliminación de la dimensión Estrategia y otros *ítems* descritos en los apartados anteriores, se obtuvo el modelo final (Figura 33).



En primer lugar, para la validez convergente de modelo final, como se puede ver en la Tabla 21, el CR de las dimensiones cumple con su umbral de aceptación, siendo todos mayor a 0.7.

**Tabla 21: Análisis de CR de las dimensiones del Modelo final**

Criterio de aceptación	Dimensión	CR Modelo final	Conclusión
>= 0.7	Operaciones y Procesos	0.819	Se acepta
	Tecnología	0.827	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.879	Se acepta
	Productos y Servicios	0.745	Se acepta
	Datos	0.873	Se acepta

En segundo lugar, el AVE en las dimensiones Operaciones y Procesos, Tecnología, Cultura Organizacional y Datos, son mayores a 0.5, por lo que se puede inferir la existencia de validez convergente en ellas. El índice obtenido por la dimensión Productos y Servicios fue de 0.495, el cual si bien no es mayor o igual a 0.5, se considera aceptable por ser un valor cercano.

**Tabla 22: Análisis del AVE de las dimensiones del Modelo final**

Criterio de aceptación	Dimensión	AVE Modelo final	Conclusión
>= 0.5	Operaciones y Procesos	0.532	Se acepta
	Tecnología	0.545	Se acepta
	Cultura Organizacional	0.513	Se acepta
	Productos y Servicios	0.495	Cercano al criterio
	Datos	0.534	Se acepta

**Tabla 23: Análisis HTMT de las dimensiones del Modelo final**

	Operaciones	Tecnología	Cultura	Productos	Datos
Operaciones					
Tecnología	0.817				
Cultura	0.444	0.678			
Productos	0.663	0.737	0.635		
Datos	0.738	0.786	0.816	0.636	

Finalmente, para validar la significancia y el impacto de las variables, el P-Value obtenido para cada una de ellas muestra que todas las variables no observadas tienen una relación significativa (Anexo H). Asimismo, se puede mencionar que dentro de la dimensión Operaciones y Procesos, el ítem con mayor impacto sobre esta es el OPE4, con un estimado de 1.339. En la dimensión de Tecnología, resalta el TEC4 con 1.60. Para Cultura Organizacional, el ítem CUL6 presenta un mayor estimado, 1.459. Asimismo, en Productos y Servicios, PRO5 impacta en 1.222. Por último, con respecto a Datos, DAT8 tiene mayor efecto sobre la dimensión con 1.147. Se destaca también que todos los ítems resultaron con un nivel de significancia menor a 0.05 (Anexo I).

En suma, producto de los ajustes realizados, las dimensiones planteadas para el modelo redujeron de 6 inicialmente propuestas, a ser 5: Operaciones y Procesos, Tecnología, Cultura

Organizacional, Productos y Servicios, y Datos. De la misma forma, los ítems o preguntas pasaron de 37 a 24. Además, a partir de los resultados mostrados, se puede concluir que este modelo de madurez para la Industria 4.0 presenta validez discriminante y convergente. Por lo que permite medir lo que propone, lo cual es diagnosticar la madurez de una organización.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se presentan las conclusiones y limitaciones de la investigación, así como recomendaciones para futuras investigaciones sobre el tema.

### 1. Conclusiones

En cuanto al aporte teórico de la investigación, se busca cubrir el vacío existente con respecto a estudios relacionados a la Industria 4.0 y sus modelos de madurez, tanto para Latinoamérica como para en el Perú, puesto que gran parte de los estudios sobre este tema provienen de países europeos como Italia, Polonia, Noruega, Alemania, Turquía, República Checa y Austria (Jacquez & López, 2018). Asimismo, se busca iniciar la inclusión del tema en la agenda y estrategia de las organizaciones peruanas, así como en futuras investigaciones relacionadas.

Con la finalidad de cumplir con el objetivo general de esta investigación, se plantearon cuatro objetivos específicos. El primero de ellos consistió en exponer los principales conceptos y principios de la Industria 4.0. El segundo objetivo fue describir la situación actual del Perú y los principales sectores productivos y sociales con respecto a la Industria 4.0. El tercer objetivo específico fue analizar los modelos de madurez de la Industria 4.0 más relevantes a nivel mundial y sus dimensiones. Finalmente, el cuarto objetivo era determinar las dimensiones que componen un modelo de madurez de la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana. En base a los objetivos señalados, se expondrán los hallazgos para cada uno.

Con respecto al primer objetivo, en el marco teórico se describieron los fundamentos teóricos, conceptos y principios de la Industria 4.0. De esta manera, se encontró que los componentes principales de la Industria 4.0 son los sistemas ciber-físicos, el internet de las cosas, internet de los servicios y fábrica inteligente. Asimismo, se logró identificar como principios de diseño a la interoperabilidad, virtualización, capacidad en tiempo real, descentralización, orientación al servicio y modularidad. La revisión bibliográfica también permitió encontrar que los modelos de madurez son utilizados como un instrumento para conceptualizar y medir la madurez de una organización, con respecto a un estado objetivo en particular. Y que, tras la aparición de los conceptos e ideas de la Industria 4.0 y la dificultad que las organizaciones poseen para su implementación, los modelos de madurez ayudan a las organizaciones en su proceso de transformación digital. Esto pues les permite evaluar su estado actual de desarrollo, identificar áreas de mejora y servir como hoja de ruta para una adaptación favorable de esta tendencia.

En cuanto al segundo objetivo, describir la situación actual del Perú y los principales sectores productivos y sociales con respecto a la Industria 4.0, se encontró lo siguiente. En primer lugar, en general, el Perú se encuentra rezagado en la preparación e implementación de

tecnologías asociadas a la Industria 4.0. Esto en base a su baja posición en los principales índices que evalúan la preparación tecnológica, adopción de TICs, innovación y nivel de investigación y desarrollo de los países. En segundo lugar, se encontró diversos lineamientos y políticas, así como instituciones del sector público, privado y la cooperación que buscan contribuir al desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en el país. Entre los lineamientos destacan el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la competitividad y desarrollo humano 2006-2021; la Política Nacional para el desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica; y la Política Nacional de Productividad y Competitividad. Para las instituciones, se tienen a CONCYTEC, APCI y los CITE. En tercer lugar, en cuanto a los avances con relación a la Industria 4.0 de los principales sectores productivos del Perú, se recogió que los sectores manufactura, minería, pesca y financiero se encuentran en camino hacia la adopción de la Industria 4.0. Por otro lado, sectores como el de construcción, aún presentan desconocimiento sobre la inversión en tecnología y carecen de una estrategia de digitalización. Es importante señalar también que aquellas organizaciones que realizan mayor inversión en innovación son las grandes empresas, encontrándose las Mypes rezagadas en este aspecto. Finalmente, con relación a los avances en sectores sociales, se abordó los sectores educación y salud, los que se considera que tienen un potencial crecimiento para la transformación digital, mas las carencias de infraestructura del Perú limitan su desarrollo.

Concerniente al tercer objetivo de la investigación, analizar los modelos de madurez de la Industria 4.0 más relevantes a nivel mundial y sus dimensiones, se puede resaltar que la mayor parte de los modelos consultados son de origen europeo, específicamente de países como Alemania, los cuales han iniciado su proceso de adaptación hacia esta tendencia con mucha más anterioridad que en Latinoamérica. Esto dificulta su aplicación en contextos como el del Perú. Asimismo, este análisis ha permitido identificar que la mayoría de los modelos existentes se encuentran dirigidos principalmente a empresas del sector privado, específicamente de la industria manufacturera. Además, los modelos comúnmente abordan dimensiones que evalúan la inclusión de la Industria 4.0 en aspectos como operaciones, cultura, tecnología, estrategia, productos, datos, infraestructura, liderazgo y gobernanza. Sobre el diseño de estos modelos de madurez, se identificó que se hace uso de una escala de Likert de 5 niveles para las preguntas, así como también presentan cinco niveles de madurez para la clasificación de las organizaciones evaluadas. Estos hallazgos han permitido reforzar la necesidad del desarrollo de un modelo de madurez que no sea exclusivo para empresas privadas, sino aplicable a todo tipo de organizaciones (incluyendo a públicas y sociales) independientemente de su sector o actividad económica. A su vez, el análisis realizado permitió encontrar características a considerar para la creación del modelo adaptado al contexto peruano.

Finalmente, como cuarto objetivo se planteó identificar las dimensiones que componen un modelo de madurez de la Industria 4.0 adaptado a la realidad organizacional peruana. Tras la revisión bibliográfica, análisis de los modelos existentes y entendimiento del contexto peruano con respecto a la Industria 4.0, se propuso un modelo de madurez compuesto por las siguientes dimensiones a evaluar: Operaciones y Procesos, Tecnología, Estrategia, Cultura Organizacional, Productos y Servicios, y Datos. Para ello, se formularon 37 preguntas, con alternativas de respuesta correspondientes a una escala de Likert del 1 al 5, donde cada respuesta guardaba relación con uno de los cinco niveles de madurez planteados. Para el testeo del modelo, se recogieron 134 respuestas, las cuales fueron analizadas a través de un análisis factorial confirmatorio. En base a los resultados, se optó por retirar la dimensión Estrategia del modelo propuesto, pues esta era estadísticamente indistinguible de la dimensión Tecnología, resultando en que el modelo final esté compuesto por las dimensiones Operaciones y Procesos, Tecnología, Cultura Organizacional, Productos y Servicios, y Datos. Además, las preguntas del modelo final pasaron de 37 a 24.

## **2 Limitaciones**

Algunas limitaciones que se encontraron en el desarrollo de esta investigación se relacionan, en primer lugar, con la poca literatura y antecedentes sobre la creación de modelos de madurez de la Industria 4.0 para el contexto Latinoamericano y mucho menos en el Perú. Por este motivo, con la finalidad de que esto no impacte negativamente a la investigación, se realizó una revisión y análisis exhaustivos de diversos modelos de madurez y de los principales componentes y principios de la Industria 4.0, para entender a profundidad este fenómeno. De la misma manera, se recogió información sobre la situación actual de las organizaciones peruanas con respecto a la implementación de la Industria 4.0 con el objetivo de adaptar las dimensiones y preguntas al contexto peruano.

Otra de limitaciones fue entendimiento del cuestionario. Por un lado, si bien se intentó diseñar las preguntas de manera que sean fácilmente entendibles por el público objetivo, de igual forma, los participantes necesitaban tener al menos un conocimiento básico sobre transformación digital o tecnología para brindar respuestas consistentes con la realidad de las organizaciones de las que forman parte. Por ello, se optó por delimitar la muestra a trabajadores o líderes de áreas afines a la investigación. El perfil buscado generó otro limitante, pues hubo dificultad para el contacto con personas que cumplan con este. Ante ello, uno de los principales medios de contacto fue LinkedIn, red que permitió verificar que las personas cumplieren con el perfil, a partir de su experiencia y conocimiento.

## **3 Recomendaciones**

En primera instancia, se recomienda aplicar el cuestionario a una muestra con mayor cantidad de participantes, y sobre todo centrarse en puestos directivos, quienes son los principales tomadores de decisiones en una organización y pueden presentar mayor conocimiento acerca de las nuevas tendencias que afectan a sus industrias. Asimismo, se recomienda tomar el modelo final elaborado como un punto de partida para futuras investigaciones que tengan como objetivo diseñar o adaptar modelos de madurez para industrias o sectores en específico.



## REFERENCIAS

- Ab Hamid, M. R., Sami, W. & Mohmad, M. H. (2017). Discriminant Validity Assessment: Use of Fornell & Larcker criterion versus HTMT Criterion. *Journal of Physics: Conference Series*, 890(1). Recuperado de <https://doi.org/10.1088/1742-6596/890/1/012163>
- Acker, R. (2017). Cómo transformará la Cuarta Revolución Industrial a las ONG. Recuperado de <https://es.weforum.org/agenda/2017/02/como-transformara-la-cuarta-revolucion-industrial-a-las-ong/>
- Alanya, J., Soto, C., Méndez, M. & Panduro, J. (2020). *Innovación e industria 4.0 en las micro y pequeñas empresas de Lima Centro, Lima*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/347006815\\_INNOVACION\\_E\\_INDUSTRIA\\_40\\_EN\\_LAS\\_MICRO\\_Y\\_PEQUENAS\\_EMPRESAS\\_DE\\_LIMA\\_CENTRO\\_LIMA](https://www.researchgate.net/publication/347006815_INNOVACION_E_INDUSTRIA_40_EN_LAS_MICRO_Y_PEQUENAS_EMPRESAS_DE_LIMA_CENTRO_LIMA)
- America Economía. (2021a). Este es el ranking de las 500 mayores empresas de Perú 2021. Recuperado de <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/este-es-el-ranking-de-las-500-mayores-empresas-de-peru-2021>
- America Economía. (2021b, octubre 15). Economía de Perú crece 11,83% interanual en agosto impulsada por la construcción y manufactura. Recuperado de <https://www.americaeconomia.com/economia-mercados/finanzas/economia-de-peru-crece-1183-interanual-en-agosto-impulsada-por-la>
- Andersen, E. & Jessen, S. (2003). Project maturity in organisations. *International Journal of Project Management*, 21(6), 457–461. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00088-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00088-1)
- AngloAmerican. (s/f). Tecnología y digitalización. Recuperado de <https://peru.angloamerican.com/es-es/innovacion/future-smart-mining/tecnologia-y-digitalizacion>
- Agencia Peruana de Cooperación Internacional. (2016). KOICA financiará proyecto que fortalecerá el Sistema de Tecnología y Comunicación en Arequipa. Recuperado de <http://portal.apci.gob.pe/index.php/noticia/item/1509-koica-financiara-proyecto-que-fortalecera-el-sistema-de-tecnologia-y-comunicacion-en-arequipa>
- Artica, J. (2021, diciembre 10). Minería acelera su transformación digital hacia industria 4.0 ante extensión de la pandemia. *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/mineria-peru-acelera-su-transformacion-digital-hacia-industria-40-ante-extension-de-la-pandemia-ncze-noticia/?ref=ecr>
- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Barreto, L., Amaral, A. & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021a). Actividad Económica: Setiembre 2021. En *Notas de Estudios del BCRP* (Número 81). Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2021/nota-de-estudios-39-2021.pdf%0Ahttps://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2021/nota->

de-estudios-28-2021.pdf

- Banco Central de Reserva del Perú. (2021b). Actividad Económica: Setiembre 2021. En *Notas de Estudios del BCRP* (Número 81).
- Bierhold, T. (2018). For a better understanding of Industry 4.0 – Industry 4.0 maturity model. *11th IBA Bachelor Thesis Conference*, 1–22.
- Bloch, C. & Bugge, M. (2013). Public sector innovation-From theory to measurement. *Structural Change and Economic Dynamics*, 27, 133–145. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2013.06.008>
- Bnamericas. (2021). *Argentina invertirá US\$288mn en ciencia, tecnología e innovación*.
- Briones, R., Medina, M. & Marinelli, S. (2020). Transformación 4.0 en el sector Textil-Confecciones: caso Confecciones Polcyr S.R.L. y Textil del Valle S.A. (Tesis de licenciatura). Recuperado de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18791/MARINELLI\\_TAGLIAVENTO\\_MEDINA\\_BALSECA\\_BRIONES\\_DEZA%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18791/MARINELLI_TAGLIAVENTO_MEDINA_BALSECA_BRIONES_DEZA%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Brown, S. P. (2008). Business Processes and Business Functions: a new way of looking at employment. *Monthly Labor Review*, 131(12), 51–70. Recuperado de <https://www.bls.gov/pub/mlr/2008/12/art3full.pdf>
- Buxmann, P., Hess, T. & Ruggaber, R. (2009). Internet of Services. *Business & Information Systems Engineering*, 1(5), 341–342. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0066-z>
- Cardoso, J., Voigt, K. & Winkler, M. (2009). Service engineering for the internet of services. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 19, 15–27. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-642-00670-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-00670-8_2)
- Chen, H. (2017a). Applications of Cyber-Physical System: A Literature Review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 02(03), 1750012. Recuperado de <https://doi.org/10.1142/s2424862217500129>
- Chen, H. (2017b). Theoretical Foundations for Cyber-Physical Systems: A Literature Review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 02(03), 1750013. Recuperado de <https://doi.org/10.1142/s2424862217500130>
- Cimini, C., Pinto, R. & Cavalieri, S. (2017). The business transformation towards smart manufacturing: a literature overview about reference models and research agenda. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 14952–14957. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2548>
- Comisión de las Comunidades Europeas. (1995). *Libro Verde de la Innovación* (Vol. 1).
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. (s/f). *¿Quiénes somos?* Recuperado de <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/concytec/quienes-somos>
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. (2006). Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo

- Humano 2006-2021 (CONCYTEC). Recuperado de <https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/politicas/Plan-Nacional-Estrategico-de-Ciencia-Tecnologia-e-Innovacion-para-la-competitividad-y-el-desarrollo-humano-2006-2021.pdf>
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. (2016). El Gobierno Regional de Arequipa, CONCYTEC y KOICA firmaron convenio de cooperación valorizado para fortalecer emprendimiento tecnológico. Recuperado de <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/nacionales-informacion-general/147-areas-de-la-institucion/fondecyt/ideas-audaces/939-ideas-audaces-postulacion-en-linea.html>
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. (2020). *Concytec obtiene financiamiento del Foro de APEC para proyecto.*
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. (2021). *Convocan a concurso de cooperación tecnológica entre empresas de Perú y España.* Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/concytec/noticias/350227-convocan-a-concurso-de-cooperacion-tecnologica-entre-empresas-de-peru-y-espana>
- Ley N° 28303, El Peruano 1 (2004). Recuperado de [http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/06/Ley\\_28303\\_Ley\\_Marco\\_Ciencia\\_Tec\\_Innovacion\\_Tecnologica.pdf](http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/06/Ley_28303_Ley_Marco_Ciencia_Tec_Innovacion_Tecnologica.pdf)
- Consejo Nacional de Competitividad y Formalización. (2018). *Política Nacional de Competitividad y Productividad.* Recuperado de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/Politica\\_Nacional\\_de\\_Competitividad\\_y\\_Productividad.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/Politica_Nacional_de_Competitividad_y_Productividad.pdf)
- Córdova, M. & Rondón, S. (2019). Diseño de una herramienta diagnóstica del estado de la implementación de tecnologías asociadas a la industria 4.0 en el sector textil manufacturero en el Valle de Aburrá. Universidad de San Buenaventura Colombia.
- Curtis, B., Chrissis, M. & Paulk, M. (1993). *Capability Maturity Model for Software, Version 1.1. May 2016.*
- Daemrich, A. (2017). Invention, Innovation Systems, and the Fourth Industrial Revolution. *Technology & Innovation*, 18(4), 257–265. Recuperado de <https://doi.org/10.21300/18.4.2017.257>
- Damanpour, F., Walker, R. M. & Avellaneda, C. N. (2009). Combinative effects of innovation types and organizational Performance: A longitudinal study of service organizations. *Journal of Management Studies*, 46(4), 650–675. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2008.00814.x>
- David, F. (2013). *Conceptos de administración estratégica* (14a ed.). Pearson Educación.
- De Bruin, T., Freeze, R., Kulkarni, U. & Rosemann, M. (2005). Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. *Australasian Conference for Information Systems*.
- De Carolis, A., Macchi, M., Negri, E. & Terzi, S. (2017). A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 513, 13–20. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-3->

- Deloitte. (s/f). *IoT - Internet Of Things*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>
- Deloitte. (2017). *Forces of change: Industry 4.0 A Deloitte series on Industry 4.0*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>
- Diccionario de la lengua española. (s/f). *Revolución*. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de <https://dle.rae.es/revolucion>
- Diez Canseco, R. (2020). *Transformación digital en la educación en tiempos del COVID-19*. Fondo Editorial USIL. Recuperado de <https://fondoeditorial.usil.edu.pe/publicacion/transformacion-digital-en-la-educacion-en-tiempos-del-covid-19/>
- Dosi, G. (1988). The Nature of innovative process. En *Technical Change and Economic Theory* (pp. 221–238).
- Dutta, S. & Lanvin, B. (2020). *The Network Readiness Index*. Recuperado de <https://networkreadinessindex.org/country/peru/>
- Política Nacional de Competitividad y Productividad, Pub. L. No. Decreto Supremo N° 345-2018-EF (2018). Recuperado de <https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/politicas/Politica-Nacional-de-Competitividad-y-Productividad-2019-2030.pdf>
- Decreto de Urgencia N° 006-2020, Pub. L. No. N, Normas Legales 358281 (2020). Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-de-urgencia-que-establece-medidas-excepcionales-y-te-decreto-de-urgencia-n-090-2020-1874820-3>
- Escobal, E. (2021a, abril). ¿Cómo acelerar la digitalización del sector construcción en el Perú? *Conexión Esan*. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2021/04/26/como-acelerar-la-digitalizacion-del-sector-construccion-en-el-peru/>
- Escobal, E. (2021b, abril). ¿Cómo acelerar la digitalización del sector construcción en el Perú? *Conexión Esan*.
- Ernst and Young. (2021). *Solamente el 21% de empresas en el Perú cuenta con las capacidades digitales necesarias para emprender una transformación digital en su sector*. Boletín de prensa. Recuperado de [https://www.ey.com/es\\_pe/news/2021/04/empresas-peru-capacidades-digitales-transformacion-digital](https://www.ey.com/es_pe/news/2021/04/empresas-peru-capacidades-digitales-transformacion-digital)
- Fundación Ingenieros ICAI. (2020). *El futuro de las ONG después de la COVID-19*. Recuperado de <https://fundacioningenierosicai.org/2020/08/31/el-futuro-de-las-ong-despues-de-la-covid-19/>
- Ganzarain, J. & Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119–1128. Recuperado de <https://doi.org/10.3926/jiem.2073>

- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. En *Department of Trade, Investment and Innovation*. Recuperado de <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4842-2047-4>
- Gökalp, E., Şener, U. & Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM. *Communications in Computer and Information Science*, 770, 128–142. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10)
- Gracel, J. & Łebkowski, P. (2018). The Concept of Industry 4.0 Related Manufacturing Technology Maturity Model (Manutech Maturity Model, MTMM). *Decision Making in Manufacturing and Services*, 12(April), 17–31. Recuperado de <https://doi.org/10.7494/dmms.2018.12.1-2.17>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate data analysis*.
- Haro, M. N. (2019). *Madurez Digital, primer paso hacia la transformación digital: Desarrollo de un modelo de madurez digital para empresas de manufactura* [Universidad San Francisco de Quito]. Recuperado de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8324/1/142704.pdf>
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016-March*, 3928–3937. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL & INTERAMERICANA EDITORES (eds.)).
- Hidalgo, A., León, G. & Pavón, J. (2013). *La gestión de la innovación y la tecnología en las organizaciones*.
- Idrica. (2021). *Idrica digitalizará la facturación del agua en el norte de Perú*. Recuperado de <https://www.idrica.com/es/blog/facturacion-del-agua-peru/>
- IMD World Competitiveness Center. (2020). *IMD WORLD DIGITAL COMPETITIVENESS RANKING 2020*. Recuperado de <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2020/>
- Industrias Pesqueras. (2021). *Gobierno y sector peruano destacan la importancia del sector pesquero tras la primera temporada de pesca de anchoveta*. Recuperado de <https://industriaspesqueras.com/noticia-67242-sec-Política de Pesca>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). *Perú: Estructura Empresarial, 2018*. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digiales/Est/Lib1703/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib1703/libro.pdf)

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020a). *En Lima Metropolitana el 75.5% de las empresas se encuentran operativas*. Recuperado de <http://m.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-128-2020-inei.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020b). *Perú: Tecnologías de Información y Comunicación en las Empresas, 2017*. Recuperado de [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1719/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1719/libro.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *EN EL PERÚ EXISTEN MÁS DE 2 MILLONES 838 MIL EMPRESAS*. Recuperado de <http://m.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-087-2021-inei.pdf>
- Instituto Tecnológico de la Producción. (s/f). *Nuestros CITE*. Recuperado el 15 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.itp.gob.pe/nuestros-cite/>
- Instituto Tecnológico de la Producción. (2021, enero 27). *ITP implementa tecnología de automatización para incrementar producción y eficiencia del sector pesquero*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/itp/noticias/326601-itp-implementa-tecnologia-de-automatizacion-para-incrementar-produccion-y-eficiencia-del-sector-pesquero>
- Jacquez, M. V. & López, V. G. (2018). Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la Industria 4.0: una revisión de literatura. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 11(20), 61–78. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2150/215057003004/215057003004.pdf>
- Jæge, B. & Halse, L. (2017). The IoT Technological Maturity Assessment Scorecard: A Case Study of Norwegian Manufacturing Companies. *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*, 514, 298–305. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6>
- Jensen, M. C. (1993). Modern Industrial Revolution, Exit, and the Failure of Internal Control Systems. *SSRN Electronic Journal*, December 2000. Recuperado de <https://doi.org/10.2139/ssrn.93988>
- Jordán, J. (2011). La innovación: una revisión teórica desde la perspectiva de marketing. *PERSPECTIVAS*, (27),47-71.[fecha de Consulta 5 de Diciembre de 2021]. ISSN: 1994-3733. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4259/425941231004.pdf>
- Kagermann, H. (2017). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. En *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6_12)
- Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Acatec-National Academy of Science and Engineering.
- Kermer-Meyer, A. (2017). *Industry 4.0 Maturity Assessment* (Número April).
- Kline, P. (1994). *An Easy Guide to Factor Analysis*. Psychology Press.
- Klötzer, C. & Pflaum, A. (2017). *Toward the development of a MM digitalization suppl.pdf*.

*Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, 4210–4219. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10125/41669>

- Kopp, J. & Basl, J. (2017). Study of the Readiness of Czech Companies to the Industry 4.0. *Journal of Systems Integration*, 8(3), 39–45. Recuperado de <https://doi.org/10.20470/jsi.v8i2.313>
- La Vanguardia. (2021). *La tecnología, única vía para ayudar a las empresas a sobrevivir*. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/economia/20210121/6185897/tecnologia-ayuda-empresas-sobrevivir-crisis-coronavirus-brl.html>
- Leyh, C., Bley, K. & Bay, L. (2017). The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. En *Twenty-third Americas Conference on Information Systems* (Número August). Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/ce1e/e1bf3faf17b67d3ff835bdd21d610c29fb58.pdf>
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, R., Bleider, M. & Millack, A. (2015). *IMPULS Industrie 4.0 Readiness*.
- Llanes-Font, M., Salvador-Hernández, Y., Suárez-Benítez, M. & Solórzano-Benítez, R. (2020). *Cuarta revolución industrial y administración pública de América Latina y el Caribe*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181563834007>
- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A. & Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: Una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, 30(3), 1151–1169. Recuperado de <https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361>
- Lucke, D., Constantinescu, C. & Westkämper, E. (2008). *Smart Factory-A Step towards the Next Generation of Manufacturing*.
- Mayer, S. (2018a). La industria 4.0 optimiza la calidad y precisión en el sector agrícola. *Informe Especial*. Recuperado de [https://apps.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r813\\_2/informe especial.pdf](https://apps.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r813_2/informe%20especial.pdf)
- Mayer, S. (2018b). La industria 4.0 optimiza la calidad y precisión en el sector agrícola. *Informe Especial*.
- Mettler, T. (2009). *A Design Science Research Perspective on Maturity Models in Information Systems*. 41(0).
- Minería y Energía. (2019, octubre). *Digitalización del gas natural: cómo avanza este proceso en Perú*. Recuperado de <https://mineriaenergia.com/digitalizacion-del-gas-natural-como-avanza-este-proceso-en-peru/>
- Ministerio de la Producción. (s/f). *Estadística MIPYME*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://ogeiee.produce.gov.pe/index.php/en/shortcode/estadistica-oe/estadisticas-mipyme#:~:text=Las Mipyme generan alrededor del,conductoras de una Mipyme formal.&text=En cuanto a las operaciones,acceden al sistema financiero regulado.>
- Ministerio de la Producción. (2016). *Estudio de la situación actual de la innovación actual de la industria manufacturera*. Recuperado de

<https://ogeiee.produce.gob.pe/images/oe/Doc/innovacion.pdf>

Ministerio de la Producción. (2020). *Innovación en la industria manufacturera y en las empresas de servicios intensivos en conocimiento*. 101. Recuperado de <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/939-innovacion-en-la-industria-manufacturera-y-en-las-empresas-de-servicios-intensivos-en-conocimiento>

Ministerio de la Producción. (2021, abril 6). *Hacia una industria 4.0: casos de éxito y taller de diagnóstico de madurez industrial*.

MIT Technology Review & Everis. (2021). *El viaje hacia la organización híbrida. La automatización de las empresas en América Latina*. Recuperado de <https://www.insightsforthefuture.com/operaciones-hibridas>

Moraga, E. (2018). *Un 89% de las pymes chilenas invierte en tecnología*.

Morales, P. (2011). *El Análisis Factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/242666956\\_El\\_Analisis\\_Factorial\\_en\\_la\\_construccion\\_e\\_interpretacion\\_de\\_tests\\_escalas\\_y\\_cuestionarios](https://www.researchgate.net/publication/242666956_El_Analisis_Factorial_en_la_construccion_e_interpretacion_de_tests_escalas_y_cuestionarios)

Morris, E. (2019). *Innovación desde la minería peruana*. Conexión Esan. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2019/10/04/innovacion-desde-la-mineria-peruana/>

Nikkhou, S., Taghizadeh, K. & Hajiyakhchali, S. (2016). Designing a Portfolio Management Maturity Model (Elena). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 226(October 2015), 318–325. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.194>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, & Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities* (4th ed.). OECD. Recuperado de <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Proyecto “Perú smart agro 4.0” incrementó productividad de agricultores aldoneros hasta en un 77%*. Recuperado de <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1267504/>

Osburg, T. & Schmidpeter, R. (2013). *Social Innovation* (T. Osburg & R. Schmidpeter (eds.)). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36540-9>

Pacheco, A. (2020). *Propuesta de implementación de la industria 4.0 en el sector manufacturero de Bogotá* [Universidad Católica de Colombia]. Recuperado de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25322/1/PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA INDUSTRIAL 4.0 EN EL SECTOR MANUFACTURERO DE BOGOTÁ.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25322/1/PROPUESTA_DE_IMPLEMENTACION_DE_LA_INDUSTRIAL_4.0_EN_EL_SECTOR_MANUFACTURERO_DE_BOGOTÁ.pdf)

Pasco, M. & Ponce, M. (2018). *Guía de Investigación en Ciencias de la Gestión*. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/172009>

Pasco, Mario. (2016). Ética en la investigación en gestión: relevancia, principios y lineamientos para su aplicación. En P. A. Editorial (Ed.), *Cuadernos de Trabajo sobre Ética de la*

*Investigación Cuaderno 1* (p. 52). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de [https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/54912/Cuaderno de Trabajo V4 VF.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/54912/Cuaderno%20de%20Trabajo%20V4%20VF.pdf?sequence=8&isAllowed=y)

- RS N° 003-2019-PCM/SEGDI, El Peruano 1 (2019). Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/308608-003-2019-pcm-segdi>
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2020). *Agenda Digital al Bicentenario*. 2–68. Recuperado de [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/748265/PERU\\_AgendaDigitalBicentenario\\_2021.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/748265/PERU_AgendaDigitalBicentenario_2021.pdf)
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2021a). *Índice de innovación digital*. Recuperado de <https://www.gob.pe/13486-indice-de-innovacion-digital>
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2021b). *Secretaría de Gobierno y Transformación Digital*. Recuperado de <https://www.gob.pe/7025-presidencia-del-consejo-de-ministros-secretaria-de-gobierno-digital>
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2021c, octubre 14). *PCM inaugura Centro de Cooperación en Gobierno y Transformación Digital Perú-Corea para acelerar la inclusión digital de toda la ciudadanía*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/pcm/noticias/544562-pcm-inaugura-centro-de-cooperacion-en-gobierno-y-transformacion-digital-peru-corea-para-acelerar-la-inclusion-digital-de-toda-la-ciudadania>
- Perspectiva CDTI. (2021). *España y Perú fortalecen su colaboración tecnológica empresarial con 2 nuevos proyectos conjuntos con certificación #Iberoeka*. Recuperado de <http://perspectivacdti.es/peru-espana-cooperacion-tecnologica-internacional-innovacion-tecnologia/>
- Perú Construye. (s/f-a). *Cinco factores clave que le faltan al Perú para digitalizar el sector construcción*. Recuperado de <https://peruconstruye.net/2021/10/22/cinco-factores-clave-que-le-faltan-al-peru-para-digitalizar-el-sector-construccion/>
- Perú Construye. (s/f-b). *Cinco factores clave que le faltan al Perú para digitalizar el sector construcción*.
- Price Waterhouse Coopers. (2016). *The Industry 4.0 / Digital Operations Self Assessment*. Recuperado de <https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/>
- Price Waterhouse Coopers Perú. (2018). *La cuarta revolución industrial: ¿qué impacto tiene en los negocios?* Recuperado de <https://desafios.pwc.pe/la-cuarta-revolucion-industrial-que-impacto-tiene-en-los-negocios/>
- Redacción El Comercio. (2021, septiembre 6). *Presentan estrategias tecnológicas para que las instituciones educativas apuesten por la transformación digital*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/presentan-estrategias-tecnologicas-para-que-las-instituciones-educativas-apuesten-por-la-transformacion-digital-noticia/>
- Redacción Gestión. (2015). *Cada año desaparece una ONG de Perú por reducción de fondos*. Recuperado de <https://gestion.pe/imprensa/ano-desaparece-ong-peru-reduccion-fondos-89332-noticia/>

- Redacción Gestión. (2021, diciembre 16). *Transformación digital de la salud peruana: ¿Cuánto se ha avanzado?* Recuperado de <https://gestion.pe/peru/transformacion-digital-de-la-salud-peruana-cuanto-se-ha-avanzado-noticia/>
- Reder, L. & Klünder, T. (2017). *Application of SCOR flexibility metrics to assess the Industry 4.0-Readiness of Supply Chain Networks: An empirical study.*
- Rejikumar, G., Sreedharan V, R., Arunprasad, P., Persis, J. & Sreeraj, K.M. (2019). Industry 4.0: key findings and analysis from the literature arena. *Benchmarking*, 26(8), 2514–2542. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0281>
- RMIT University. (s/f). *Industry 4.0 Design Principles*. Recuperado el 9 de noviembre de 2021. Recuperado de <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/industry-4-0-design-principles>
- Rogers, M. (2004). Networks, firm size and innovation. *Small Business Economics*, 22(2), 141–153. Recuperado de <https://doi.org/10.1023/B:SBEJ.0000014451.99047.69>
- Rojas, L., Cedamano, C. & Vargas, J. (2015, abril). Registro nacional de historias clínicas electrónicas en Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*. Recuperado de <https://rpmesp.ins.gob.pe/rpmesp/article/view/1639/1820>
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77–90. Recuperado de <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- Rositas, J. (2017). Los tamaños de las muestras en encuestas de las ciencias sociales y su repercusión en la generación del conocimiento. *Revista Innovaciones de Negocios*, 11(22), 235–268. Recuperado de <https://doi.org/10.29105/rinn11.22-4>
- Rupp, M., Schneckenburger, M., Merkel, M., Börret, R. & Harrison, D. K. (2021). Industry 4.0: A technological-oriented definition based on bibliometric analysis and literature review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 1–20. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/joitmc7010068>
- Salinas, M. (2021). *Los estragos del COVID - 19 en los estado financieros del 2020 de las empresas peruanas*. Recuperado de <https://desafios.pwc.pe/estragos-del-covid-19-en-los-estados-financieros-de-empresas-peruanas/>
- Schlick, J., Stephan, P., Loskyll, M. & Lappe, D. (2014). Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. En *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (pp. 57–84). Springer Fachmedien Wiesbaden. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_3)
- Schumacher, A., Erol, S. & Sihm, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Harvard Economic Studies. Recuperado de <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674879904>
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy* (3era ed.). Recuperado de <https://doi.org/10.4324/9780203857090>

- Schwab, K. (2016). *La Cuarta Revolución Industrial*. Recuperado de [http://40.70.207.114/documentosV2/La cuarta revolucion industrial-Klaus Schwab \(1\).pdf](http://40.70.207.114/documentosV2/La%20cuarta%20revolucion%20industrial-Klaus%20Schwab%20(1).pdf)
- Schwab, K. (2019). *The Global Competitiveness Report 2019*. Recuperado de [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)
- Semana Económica. (2017). *Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia*. Recuperado de <https://www.antamina.com/noticias/innovacion-drones-antamina-caza-eficiencia/>
- Semana Económica. (2021a, abril). ¿Qué hace falta para empezar la digitalización en el sector construcción? *Semana Económica*.
- Semana Económica. (2021b, abril 2). ¿Qué hace falta para empezar la digitalización en el sector construcción? *Semana Económica*. Recuperado de <https://semanaeconomica.com/management/digitalizacion/que-hace-falta-para-empezar-la-digitalizacion-en-el-sector-construccion>
- Sociedad de Comercio Exterior del Perú. (2020). Las micro y pequeñas empresas en el Perú. Resultados en 2019. En *COMEXPERU*. Recuperado de <https://www.comexperu.org.pe/upload/articles/reportes/reporte-mype-001.pdf>
- Sociedad de Comercio Exterior del Perú. (2021a). La transformación digital en el gobierno peruano: avances en sectores sociales como educación y salud. *Semanario 1076*. Recuperado de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/la-transformacion-digital-en-el-gobierno-peruano-avances-en-sectores-sociales-como-educacion-y-salud>
- Sociedad de Comercio Exterior del Perú. (2021b, junio 18). Transformación digital en el Perú: una necesidad latente para las empresas. *Semanario 1079*. Recuperado de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/transformacion-digital-en-el-peru-una-necesidad-latente-para-las-empresas>
- Sociedad Nacional de Pesquería. (2019, marzo). *Empresas: Pesquera Diamante inicia la transformación digital de sus procesos*. Recuperado de <https://www.snp.org.pe/empresas-diamante-iniciatransformacion-digital/>
- Sociedad Nacional de Pesquería. (2020a). *Industria pesquera: Contribución a la economía peruana*. Recuperado de <https://www.snp.org.pe/relevancia-economica/>
- Sociedad Nacional de Pesquería. (2020b, agosto). *Empresas: Pesquera Diamante refuerza su apuesta por la transformación digital*. Recuperado de <https://www.snp.org.pe/empresas-pesquera-diamante-refuerza-su-apuesta-por-la-transformacion-digital/>
- Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A. & Testa, C. (2016). A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era. *Procedia CIRP*, 57, 122–127. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.022>
- U.S. Geological Survey. (2021). *Mineral Commodity Summaries*. Recuperado de <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/mcs2021>.
- UTEC, & Everis. (2019a). *Transformación Digital en el Perú. Testimonios y experiencias de los principales líderes empresariales del Perú* (EVERIS PERÚ S.A.C. (ed.)). Recuperado de

<https://asep.pe/wp-content/uploads/2019/06/Transformación-digital-en-el-Perú.pdf>

UTEC, & Everis. (2019b). *Transformación Digital en el Perú. Testimonios y experiencias de los principales líderes empresariales del Perú* (EVERIS PERÚ S.A.C. (ed.)).

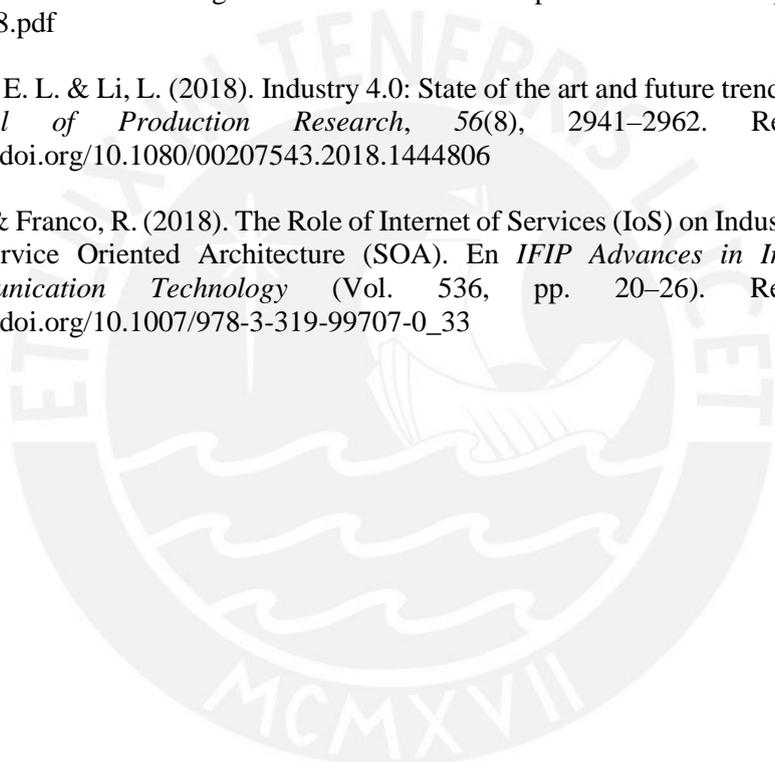
VDMA, IW Consultant, & RWTH Aachen University. (2015). *Industry 4.0 Readiness-Check*. Recuperado de <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>

World Intellectual Property Organization [WIPO]. (2021). Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. En S. Dutta, L. Bruno, L. Rivera León, & S. Wunsch-Vincent (Eds.), *World Intellectual Property Organization* (World Inte, Número 14th Edition). Recuperado de <https://doi.org/10.34667/tind.44315>

World Economic Forum. (2018). *The Global Competitiveness Report 2018*. Recuperado de <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>

Xu, L. Da, Xu, E. L. & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Zonichenn, J. & Franco, R. (2018). The Role of Internet of Services (IoS) on Industry 4.0 Through the Service Oriented Architecture (SOA). En *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 536, pp. 20–26). Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_33)



## ANEXOS

### ANEXO A: Resumen del modelo de madurez propuesto por Schumacher et al. (2016)

Tabla A1: Resumen del modelo de madurez propuesto por Schumacher et al. (2016)

Dimensión	Ejemplos de elementos de madurez
Estrategia	Implementación de una hoja de ruta para la Industria 4.0, recursos disponibles para su tomar consciencia de ella, adaptación de modelos de negocio.
Liderazgo	Disposición de los líderes, competencias y métodos de gestión, existencia de una coordinación central para la Industria 4.0.
Clientes	Uso de datos de los clientes, digitalización de ventas / servicios, competencia en medios digitales para el cliente.
Productos	Individualización de productos, digitalización de productos, integración del producto en otros sistemas.
Operaciones	Descentralización de la producción, modelado y simulación, colaboración interdisciplinaria e interdepartamental.
Cultura	Intercambio de conocimientos, innovación abierta y colaboración entre empresas, valor de las TIC en la empresa.
Personas	Competencias TIC de los empleados, apertura de los empleados a las nuevas tecnologías, autonomía de los empleados.
Gobernanza	Normativa laboral para I40, idoneidad de los estándares tecnológicos, protección de la propiedad intelectual.
Tecnología	Existencia de TIC modernas, uso de dispositivos móviles, uso de la comunicación de máquina a máquina.

Adaptado de Schumacher et al. (2016)

## ANEXO B: Modelos de madurez y preparación de la Industria 4.0 existentes

Tabla B1: Modelos de madurez y preparación de la Industria 4.0 existentes

Autores	Modelo	Dimensiones/Categorías	Niveles/Etapas
Bierhold (2018)	Modelo de madurez para la Industria 4.0	Dos grupos: 1. Sobre la empresa: Cultura, innovación, finanzas, empleados, estrategia y liderazgo, marketing, normativa 2. Sobre tecnología: Tecnologías de la información, producción, inteligencia artificial	Del 1 al 5, donde 1 es el nivel más bajo y el 5 el más alto
De Carolis et al. (2017)	Modelo de Madurez de Evaluación de Preparación Digital de empresas manufactureras	1. Procesos 2. Monitoreo y control 3. Tecnología 4. Organización	ML1 (Inicial) ML2 (Administrado) ML3 (Definido) ML4 (Integrado e interoperable) ML5 (Orientado a lo digital)
Ganzarain & Errasti (2016)	Modelo de madurez para la Industria 4.0 de tres etapas para pequeñas y medianas empresas	1. Manufactura avanzada 2. Energía 3. Electrónica avanzada 4. Negocio digital	1. Inicial 2. Manejada 3. Definida 4. Transformar 5. Modelo de negocio detallado
Gökalp et al. (2017)	Modelo de Madurez de Industria 4.0 (Industry 4.0-MM)	1. Gestión de activos 2. Gobernanza de datos 3. Gestión de aplicaciones 4. Transformación de procesos 5. Alineamiento organizacional	Adaptado de SPICE: Nivel 0: Incompleto Nivel 1: Realizado Nivel 2: Administrado Nivel 3: Establecido Nivel 4: Predecible Nivel 5: Optimizado
Gracel & Lebkowsky (2018)	Modelo de Madurez Tecnología de Manufactura (MTMM, ManuTech Maturity Model)	1. Tecnologías centrales 2. Personas y cultura 3. Gestión del conocimiento 4. Integración en tiempo real 5. Infraestructura 6. Conciencia y alineamiento estratégico 7. Excelencia de procesos 8. Ciberseguridad	Del 1 al 4, en el que el 1 es el nivel más bajo y el nivel 4 se refiere al estado del arte
Jæger & Halse (2017)	Modelo de madurez tecnológica de IoT: Caso de estudio de empresas manufactureras noruegas	No se brinda información al respecto	Nivel 1 - Madurez 3.0 Nivel 2 - Inicial a Madurez 4.0 Nivel 3 - Conectado Nivel 4 - Mejorada ( <i>Enhaced</i> ) Nivel 5 - Innovando Nivel 6 - Integrado Nivel 7 - Extensivo Nivel 8 - Madurez 4.0

**Tabla B1: Modelos de madurez y preparación de la Industria 4.0 existentes (continuación)**

Autores	Modelo	Dimensiones/Categorías	Niveles/Etapas
Kermer-Meyer (2017)	Industry 4.0 - Maturity Assessment	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soluciones inteligente</li> <li>2. Innovación inteligente</li> <li>3. Redes inteligentes</li> <li>4. Producción inteligente</li> <li>5. Modelos de negocio</li> <li>6. <i>Framework conditions</i></li> </ol>	<p>Marco de referencia</p> <p>Visibilidad</p> <p>Transparencia</p> <p>Previsibilidad</p> <p>Adaptabilidad</p>
Klötzer & Pflaum (2017)	Hacia el desarrollo de un modelo de madurez para la digitalización dentro de la cadena de suministro de la industria manufacturera	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollo de estrategia</li> <li>2. Oferta al cliente</li> <li>3. Productos/Empresa inteligente</li> <li>4. Sistema TI complementario</li> <li>5. Cooperación</li> <li>6. Estructura organizacional</li> <li>7. Proceso organizacional</li> <li>8. Competencias</li> <li>9. Cultura de innovación</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conciencia digital</li> <li>2. Productos inteligentes conectados</li> <li>3. Empresa orientada a servicios</li> <li>4. Pensando en los sistemas de servicio</li> <li>5. Empresa basada en datos</li> </ol>
Kopp & Basl (2017)	Estudio de la preparación de las empresas checas para la Industria 4.0	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrategia</li> <li>2. Innovación y cambios</li> <li>3. Tecnología</li> <li>4. Data y seguridad</li> <li>5. Trabajadores</li> </ol>	<p>Nivel 0: Empresas con puntajes de 0 en la encuesta</p> <p>Nivel 1: Empresas con puntajes entre 0 y 50</p> <p>Nivel 2: Empresas con puntajes entre 50 y 90</p> <p>Nivel 3: Empresas con puntajes entre los 90 y 120</p> <p>Nivel 4: Empresas con puntajes entre 120 y 145</p> <p>Nivel 5: Empresas con puntajes entre 145 y 160</p>
Leyh et al. (2017)	Modelo de madurez SIMMI 4.0 ( <i>System Intefgration Maturity Model Industry 4.0</i> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dimensión vertical</li> <li>2. Dimensión horizontal</li> <li>3. Dimensión de desarrollo de productos digitales</li> <li>4. Dimensión de criterios tecnológicos transversales</li> </ol>	Etapas del 1 al 5
Price Waterhouse Coopers (2016)	Autoevaluación de Industria 4.0 / Operaciones Digitales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modelo de negocios, cartera de productos y servicios</li> <li>2. Acceso al mercado y al cliente</li> <li>3. Cadena de valor y procesos</li> <li>4. Arquitectura de TI</li> <li>5. Cumplimiento normativo, riesgo, seguridad e impuestos</li> <li>6. Organización y cultura</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Novato digital</li> <li>2. Integrador vertical</li> <li>3. Colaborador horizontal</li> <li>4. Campeón digital</li> </ol>

**Tabla B1: Modelos de madurez y preparación de la Industria 4.0 existentes (continuación)**

Autores	Modelo	Dimensiones/Categorías	Niveles/Etapas
Reder & Klünder (2017)	Métricos flexibles del SCOR	C1: Conciencia de IOT C2: Uso de tecnología C3: TI en la nube - Aplicaciones C4: Compartir habilidades en la cadena de suministro C5: Conocimientos sobre la cadena de suministro. C6: Voluntad para la reconfiguración de la cadena de suministro C7: Dependencia económica de la SCN C8: Alineación estratégica SC hacia arriba C9: Alineación estratégica SC hacia abajo C10: Grado de colaboración C11: Tiempo necesario para capacitar mano de obra adicional C12: Tiempo del ciclo de facturación C13: Velocidad del proceso C14: Capacidad de rendimiento hacia arriba C15: Capacidad de rendimiento hacia abajo	Rígido Promedio Medio Avanzado
Schumacher et al. (2016)	Modelo de madurez para evaluar la preparación y madurez de las empresas manufactureras en la Industria 4.0	1. Estrategia 2. Liderazgo 3. Clientes 4. Productos 5. Operaciones 6. Cultura 7. Personas 8. Gobernanza 9. Tecnología	Niveles del 1 al 5
VDMA et al. (2015)	Autoevaluación en línea de preparación para la industria 4.0 para empresas	Estrategia y organización Fábrica inteligente Operación inteligente Productos inteligentes Servicios basados en datos	Niveles del 1 al 5 en donde: Nivel 1 (principiantes) Nivel 5 (mejor desempeño)

## ANEXO C: Estandarización de dimensiones de los modelos de madurez y preparación evaluados

Tabla C1: Estandarización de dimensiones de los modelos evaluados

Autor	Dimensión Original	Dimensión Final	
De Carolis et al. (2017)	Procesos	Operaciones y Procesos	
	Monitoreo y Control	Operaciones y Procesos	
	Tecnología	Tecnología	
	Organización		Estrategia
			Cultura Organizacional
		Liderazgo	
Ganzarain & Errasti (2016)	Manufactura Avanzada	Operaciones y Procesos	
	Energía	Operaciones y Procesos	
	Electrónica Avanzada	Tecnología	
	Negocio Digital	Productos y Servicios	
Gokalp et al. (2017)	Gestión de activos	Infraestructura	
	Gobernanza de datos	Datos	
	Gestión de aplicaciones	Operaciones y Procesos	
	Transformación de procesos	Operaciones y Procesos	
	Alineamiento organizacional	Estrategia	
Gracel & Lebkowsky (2018)	Tecnologías centrales	Operaciones y Procesos	
	Personas y cultura	Cultura Organizacional	
	Gestión del conocimiento	Cultura Organizacional	
	Integración en tiempo real	Operaciones y Procesos	
	Infraestructura	Infraestructura	
	Conciencia y alineamiento estratégico	Estrategia	
	Excelencia de procesos	Operaciones y Procesos	
Jodlbauer et al. (2016)	Datos	Datos	
		Ciberseguridad	
	Inteligencia	Tecnología	
		Operaciones y Procesos	
	Transformación Digital	Infraestructura	
		Cultura Organizacional	
		Cultura Organizacional	
Kermer-Meyer (2017)	Soluciones inteligentes	Productos y Servicios	
	Innovación inteligente	Operaciones y Procesos	
	Redes inteligentes	Operaciones y Procesos	
	Producción inteligente	Operaciones y Procesos	
	Modelos de negocio	Estrategia	
	Condiciones	Estrategia	
		Infraestructura	
		Tecnología	
Cultura Organizacional			

**Tabla C1: Estandarización de dimensiones de los modelos evaluados (continuación)**

Autor	Dimensión Original	Dimensión Final
Klötzer & Pflaum (2017)	Desarrollo de estrategia	Estrategia
	Oferta al cliente	Productos y Servicios
	Productos/Empresa inteligente	Productos y Servicios
	Sistema TI complementario	Tecnología
	Cooperación	Operaciones y Procesos
	Estructura organizacional	Tecnología
	Proceso organizacional	Estrategia
	Competencias	Cultura Organizacional
Kopp & Basl (2017)	Estrategia	Estrategia
	Innovación y Cambios	Estrategia
	Tecnología	Tecnología
	Data y seguridad	Datos
	Trabajadores	Cultura Organizacional
Leyh et al. (2017)	Dimensión Vertical	Tecnología
	Dimensión Horizontal	Operaciones y Procesos
	Dimensión Horizontal	Tecnología
	Dimensión de desarrollo de productos digitales	Operaciones y Procesos
	Dimensión de criterios tecnológicos transversales	Tecnología
Price Waterhouse Coopers (2016)	Modelo de negocios, cartera de productos y servicios	Productos y Servicios
	Acceso al mercado y al cliente	Productos y Servicios
	Acceso al mercado y al cliente	Datos
	Cadena de valor y procesos	Operaciones y Procesos
	Arquitectura de TI	Tecnología
	Cumplimiento normativo, riesgo, seguridad e impuestos	Gobernanza
	Organización y cultura	Cultura Organizacional
Reder & Klünder (2017)	Conciencia del IoT	Operaciones y Procesos
	Utilización de tecnología	Tecnología
	Aplicaciones de TI en la nube	Tecnología
	Intercambio de habilidades de cadena de suministros (SC)	Cultura Organizacional
	SC Know How	Cultura Organizacional
	Disposición a la reconfiguración	Cultura Organizacional
	Dependencia económica de la <i>Supply Chain Network</i>	Operaciones y Procesos

**Tabla C1: Estandarización de dimensiones de los modelos evaluados (continuación)**

Autor	Dimensión Original	Dimensión Final	
Reder & Klünder (2017)	Alineación estratégica hacia arriba de la SC	Operaciones y Procesos	
	Alineación estratégica hacia abajo de la SC;	Operaciones y Procesos	
	Grado de colaboración	Estrategia	
	Tiempo necesario para entrenar mano de obra adicional	Estrategia	
	Tiempo de ciclo de manufactura	Operaciones y Procesos	
	Velocidad de procesamiento	Operaciones y Procesos	
	Capacidad de desempeño hacia arriba	Operaciones y Procesos	
	Capacidad de desempeño hacia abajo	Operaciones y Procesos	
Schumacher et al. (2016)	Estrategia	Estrategia	
	Liderazgo	Liderazgo	
	Clientes		Productos y Servicios
			Datos
	Productos	Productos y Servicios	
	Operaciones	Operaciones y Procesos	
	Cultura	Cultura Organizacional	
	Personas	Cultura Organizacional	
Gobernanza	Gobernanza		
Tecnología	Tecnología		
VDMA et al. (2015)	Estrategia y organización	Estrategia	
	Fábrica inteligente	Tecnología	
	Operación inteligente	Operaciones y Procesos	
	Productos inteligentes	Productos y Servicios	
	Servicios basados en datos	Datos	
	Recursos humanos	Cultura Organizacional	

## ANEXO D: Cuestionario para la investigación

### Introducción

La presente investigación tiene como finalidad elaborar un modelo de madurez sobre la industria 4.0 aplicable a las organizaciones peruanas, para lo cual se ha elaborado este cuestionario que busca recopilar información de las distintas organizaciones del país sobre esta temática.

La investigación será presentada para la obtención de la licenciatura en la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la Pontificia Universidad Católica del Perú y su realización está a cargo de las estudiantes Shaaron Chalco y Miguel Salas, con la asesoría y supervisión del docente Berlan Rodríguez.

En caso de tener alguna duda sobre la investigación puede comunicarse a los correos miguel.salass@pucp.edu.pe o schallcoa@pucp.edu.pe. Asimismo, para consultas sobre ética en la investigación, puede comunicarse con el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad, al correo electrónico etica.investigacion@pucp.edu.pe.

Finalmente, se les recuerda que responder esta encuesta es de manera voluntaria, la información obtenida es confidencial y garantizamos que los datos serán utilizados exclusivamente con fines académicos.

1. Teniendo en consideración lo anterior, ¿acepta ser parte de la investigación y responder este cuestionario?
  - a. Sí
  - b. No
2. Cargo que ocupa dentro de la organización  
\_\_\_\_\_

### Preguntas introductorias sobre la organización:

Con el objetivo de conocer sobre el perfil de su organización, le pedimos completar las siguientes preguntas.

#### I. Preguntas acerca de la empresa:

1. ¿Qué tipo de organización es?
  1. Social
  2. Pública
  3. Privada
2. ¿A qué sector pertenece la organización?
3. ¿En qué región se encuentra localizada la organización? (Según inscripción en SUNARP)
4. ¿En qué región(es) del Perú la organización realiza sus operaciones?
5. ¿Cuál es el rango aproximado de ingresos anuales que percibe la organización?
  1. Hasta 150 UIT
  2. Entre 150 hasta 1700 UIT
  3. Entre 1700 hasta 2300 UIT
  4. Desde 2300 UIT a más
  5. No aplica
6. ¿Qué cantidad de trabajadores posee la organización?
  1. 2 a 9 trabajadores
  2. 10 a 49 trabajadores
  3. 50 a 199 trabajadores
  4. 200 trabajadores a más
7. ¿Cuál es el rango de edad promedio de los colaboradores?
  1. 18-30
  2. 31-40
  3. 41-50
  4. 51 a más

8. Seleccione el mayor grado de instrucción obtenido por el propietario(a), accionistas y/o autoridad máxima de la organización
  1. No registra estudios
  2. Primaria completa
  3. Secundaria completa
  4. Superior completa (técnico o universitario)
  5. Estudios de posgrado
9. ¿Cuánto tiempo lleva operando la organización?
  1. Menos de 5 años
  2. 5 a 10 años
  3. 11 a 20 años
  4. 21 a 50 años
  5. 50 años a más
10. Seleccione la opción más acorde a la situación de la organización actualmente
  1. La organización es líder y busca mantener esta posición aprovechando las oportunidades.
  2. La organización está enfocada en hacerle frente a las amenazas presentes en el sector.
  3. La organización está en proceso de reorientación para aprovechar las oportunidades en el mercado.
  4. La organización se encuentra en una posición desfavorable y busca evitar que esta empeore.

## II. Conocimiento sobre Industria 4.0:

1. De las siguientes opciones, marque la opción que más se asemeje a la situación actual de la organización con respecto a la Industria 4.0
  1. No se conoce
  2. Se conoce el término superficialmente
  3. Se tiene conocimiento sobre el término, pero no se ha considerado su implementación
  4. Se está intentando aplicar la Industria 4.0 en la organización
  5. Se viene implementando la Industria 4.0 por un periodo mayor o igual a un año
2. Si la organización no aplica los principios de la Industria 4.0, ¿Cuál considera que es la principal razón?
  1. Desconocimiento sobre el tema
  2. No lo considera relevante para su industria
  3. Escasos incentivos por parte del Estado
  4. Poco/nulo conocimiento sobre cómo implementarla
  5. Otro: \_\_\_\_\_

## Dimensión: Operaciones y Procesos

### I. Colaboración entre actores y áreas de la organización

3. ¿Asegura la planificación y asignación de recursos anticipada a través de la comunicación automatizada entre áreas involucradas en el proceso productivo?
  1. No. Las comunicaciones se dan a través de medios tradicionales. Ejm: Correo electrónico, llamadas, mensajes de texto, etc.
  2. No, pero se tiene considerado implementarla en el largo plazo.
  3. No, pero su pronta implementación forma parte de la estrategia de la organización.
  4. Sí. Existen notificaciones que alertan automáticamente sobre las necesidades de las áreas.
  5. Sí. Los sistemas realizan pronósticos de requerimientos autónomamente para las distintas actividades del proceso productivo.
4. ¿La organización cuenta con información en tiempo real acerca de su cadena de suministro?
  1. No. No se recoge ningún tipo de información de la cadena de suministro.
  2. No, pero se tiene considerado contar con este tipo de información en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para poner a disposición este tipo de información.
  4. Sí. Esta información se encuentra disponible en algunas partes de la cadena de suministro
  5. Sí. Esta información se encuentra disponible para toda la cadena de suministro y es confiable.

5. ¿El proceso de planificación de la producción está integrado con los socios y/o proveedores?
  1. No y esta integración no se tiene prevista.
  2. No, pero se tiene considerada esta integración en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para llevar a cabo esta integración.
  4. Sí. Esta integración existe en algunas etapas de la planificación de la producción.
  5. Sí. Esta integración se lleva a cabo en todas las etapas de la planificación de la producción.
  
6. ¿Se tiene automatizado el control de inventarios?
  1. No. El control sobre el inventario se realiza manualmente.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero su pronta implementación forma parte de la estrategia de la organización.
  4. Sí. Se han automatizado algunas actividades del control de inventarios.
  5. Sí. Se han automatizado la mayoría de las actividades del control de inventarios. Además, existe un monitoreo en tiempo real acerca de las unidades disponibles sobre cada tipo de producto, insumos, etc.

## **II. Capacidad para compartir información**

7. ¿Existe un software que permita el flujo de información de manera automatizada e integrada entre las áreas que componen la organización? Ejm. ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Enterprise System), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), etc.
  1. No. No se cuenta con un mecanismo automatizado para el flujo de información.
  2. No, pero se planea adquirir uno.
  3. La organización está en proceso de adquirir uno.
  4. Sí, la organización cuenta con un software de tipo ERP.
  5. Sí, la organización cuenta con un software de tipo MES o SCADA

## **III. Monitoreo y control de procesos**

8. ¿La organización lleva un control sobre los tiempos de las distintas partes de su proceso?
  - 1: No. No se monitorea el tiempo destinado a cada actividad del proceso.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero su pronta implementación forma parte de la estrategia de la organización.
  4. Sí. Se monitorea y almacena la información de algunas actividades relevantes del proceso.
  - 5: Sí. Se monitorea y almacena la información de todas las actividades relevantes del proceso para su uso en propuestas de mejora.

## **Dimensión: Tecnología**

### **I. Tecnología actual**

9. ¿Qué tan actualizada se encuentra la maquinaria con la que cuenta su organización en comparación de las últimas tendencias de su industria?
  1. Nada
  2. Poco
  3. Regular
  4. Bastante
  - 5: Totalmente
  
10. ¿Las instalaciones de la organización cuentan con una conexión a internet estable?
  - 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo
  3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo

## II. Uso de Sistemas Ciber Físicos (CPS), Internet de las Cosas (IoT) e Internet de los Servicios (IoS)

11. ¿Los sistemas o máquinas de la organización pueden ser controlados de manera remota? Ejm. Dispositivos móviles, ordenadores, etc.
  1. No, y no se tiene previsto adquirir o desarrollar este tipo de sistemas o máquinas.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su adquisición e implementación.
  4. Sí. Algunas máquinas o sistemas cuentan con esa capacidad.
  5. Sí. Todas las máquinas o sistemas de la empresa cuentan con la capacidad de ser controlados remotamente.
12. ¿Las máquinas o sistemas que utiliza su empresa tienen la capacidad para conectarse e interactuar entre ellas?
  1. No, y no se tiene previsto adquirir o desarrollar este tipo de máquinas.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su adquisición e implementación.
  4. Sí. Algunas máquinas o sistemas cuentan con esa capacidad.
  5. Sí. Todas las máquinas o sistemas de la empresa cuentan con la capacidad para conectarse e interactuar entre ellas.
13. ¿Se cuenta con sensores inteligentes en la organización?
  1. No, y no se tiene previsto realizarlo.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su adquisición e implementación.
  4. Sí. Se cuenta con sensores inteligentes en algunos procesos clave de la organización
  - 5: Sí. Se cuenta con sensores inteligentes en todas las partes y procesos relevantes de la organización.

## III. Manufactura aditiva

14. ¿Se aplica la manufactura aditiva en la organización? Ejm. Impresión 3D, modelado con láser, láser *cladding*, etc.
  1. No. Los procesos de fabricación de la organización son tradicionales.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su implementación.
  4. Sí. Se utiliza en uno de los siguientes procesos: Diseño, ingeniería o fabricación
  5. Sí. Se utiliza en los procesos de diseño, ingeniería y fabricación.

### Dimensión: Estrategia

#### I. Industria 4.0 en la estrategia organizacional

15. ¿Qué tan importante es para los líderes la adopción de la Industria 4.0 como parte de la estrategia de la organización?
  1. Nada
  2. Poco
  3. Regular
  4. Bastante
  5. Mucho
16. ¿La empresa cuenta con una hoja de ruta a seguir para la implementación de actividades relacionadas a la Industria 4.0?
  1. No, y no se tiene previsto realizarlo.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero la organización está desarrollando una.
  4. Sí, y se vienen implementando sus actividades por un periodo menor a un año.
  5. Sí, y ya se encuentra en implementación por un periodo mayor o igual a un año.
17. ¿En qué medida la estrategia de la organización y/o modelo de negocio se encuentran alineados

a la Industria 4.0?

1. Nada
2. Poco
3. Regular
4. Bastante
5. Totalmente

## **II. Inversión en tecnología y gestión de la innovación**

18. ¿La empresa realiza inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D) o cuenta con un área encargada para estas funciones?
  - 1: No, y no se tiene previsto realizarlo.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su implementación.
  4. Sí, se han realizado algunas inversiones en I+D.
  5. Sí, se realizan inversiones en I+D periódicamente y/o se cuenta con un área establecida.
19. ¿Las inversiones en materia de tecnología en la organización responden a una estrategia orientada a la digitalización?
  1. No. No se tiene prevista la adquisición o desarrollo de este tipo de sistema.
  2. No, pero se reconoce su importancia y se tiene considerado implementarlos en el largo plazo.
  3. No, pero su pronta implementación forma parte de la estrategia de la organización.
  4. Sí, estos sistemas se encuentran en desarrollo.
  5. Sí, cuentan con un área especializada de estos sistemas y/o se cuenta con certificación 27001.

### **Dimensión: Cultura Organizacional**

#### **I. Capacitaciones y Formación continua**

20. ¿Los líderes motivan a sus equipos hacia la implementación de la Industria 4.0?
  - 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo
  3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo
21. ¿Qué tan a menudo la organización ofrece programas de formación continua a sus trabajadores para mantenerlos actualizados con respecto a las nuevas tendencias de su industria?
  1. Nunca
  2. Raramente
  3. Ocasionalmente
  4. Frecuentemente
  5. Muy frecuentemente
22. ¿Qué tan a menudo la organización ofrece programas de capacitación en herramientas tecnológicas a sus colaboradores? Ejm. Programas de ofimática, manejo de bases de datos, etc.
  1. Nunca
  2. Raramente
  3. Ocasionalmente
  4. Frecuentemente
  5. Muy frecuentemente

#### **II. Competencias TIC de los colaboradores actuales**

23. ¿Considera que las competencias de sus colaboradores en materia de TICs se encuentran actualizadas a los nuevos requerimientos de su industria?
  - 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo
  3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo

- 4. De acuerdo
- 5: Totalmente de acuerdo

### **III. Gestión del conocimiento**

24. ¿La empresa fomenta espacios que permitan el intercambio de conocimientos entre los miembros de la organización?
- 1: Totalmente en desacuerdo
  - 2. En desacuerdo
  - 3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  - 4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo

### **IV. Alineamiento de los colaboradores con la cultura**

25. ¿Se pone a disposición de los colaboradores espacios y herramientas que fomenten una cultura de innovación en su organización? Ejm: Concursos sobre soluciones innovadoras, espacios de trabajo estimulantes y/o colaborativos
- 1. Totalmente en desacuerdo
  - 2. En desacuerdo
  - 3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  - 4. De acuerdo
  - 5. Totalmente de acuerdo
26. ¿Considera que los colaboradores de la organización se encuentran alineados con la cultura y estrategia de la empresa?
- 1: Totalmente en desacuerdo
  - 2. En desacuerdo
  - 3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  - 4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo

## **Dimensión: Productos y Servicios**

### **I. Digitalización de productos/servicios**

27. ¿A través de qué medios los clientes pueden adquirir los productos y/o servicios ofertados por la organización?
- 1. Tienda física
  - 2. Call Center
  - 3. Redes sociales
  - 4. Página web
  - 5. Aplicaciones móviles
28. ¿A través de qué medios los clientes/usuarios pueden acceder al servicio post venta de los productos y/o servicios ofertados por la organización?
- 1. Tienda física
  - 2. Call Center
  - 3. Redes sociales
  - 4. Página web
  - 5. Aplicaciones móviles
29. ¿Se utiliza la inteligencia artificial (chatbots) en la atención al cliente/usuario?
- 1. No. No se utiliza en ningún punto de contacto con el cliente
  - 2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  - 3. No, pero se cuenta con una estrategia para su implementación.
  - 4. Sí. Algunas interacciones con el cliente pueden ser atendidas y resueltas por el chatbot.
  - 5. Sí. La mayoría de interacciones con el cliente/usuario pueden ser atendidas y resueltas por el chatbot.

30. ¿Cuál es el nivel de personalización de sus productos brinda a los clientes/usuarios?
1. Los clientes solo tienen una opción de producto.
  2. Los clientes escogen entre el catálogo de productos existentes.
  3. A partir de un modelo base, los clientes escogen las características de su producto.
  4. Los clientes pueden diseñar su producto a través de una aplicación móvil o página web.
  5. A través de la información sobre sus preferencias o hábitos de consumo, los clientes reciben recomendaciones durante el proceso del diseño de su producto.

## **II. Capacidad de los productos/servicios para conectarse con otros artefactos a través de Internet**

31. ¿Los productos que la empresa ofrece tienen la capacidad de integrarse con otros artefactos, tales como Siri, Alexa, Asistente de Google, Cortana, etc.?
1. No, y no se ha previsto realizarlo.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su implementación.
  4. Sí, algunos productos tienen la capacidad para integrarse con asistentes virtuales.
  5. Sí, la mayor parte de los productos tienen la capacidad para integrarse con asistentes virtuales.

### **Dimensión: Datos**

#### **I. Recopilación, análisis, uso y protección de la información**

32. ¿La organización recoge información de sus clientes/usuarios a través de Internet? Ejm. Información de compras y preferencias, perfil del cliente, satisfacción con el producto o servicio, motivos de devoluciones o quejas, etc.
1. No. No se recoge información de ningún tipo.
  2. No. Se recoge información de manera tradicional a través de llamadas, preguntando personalmente, entre otros.
  3. No, pero su pronta implementación forma parte de la estrategia de la organización.
  4. Sí. Se recoge información en algunos de los puntos de contacto con el cliente.
  5. Sí. Se recoge información en todos los puntos de contacto con el cliente.
33. ¿La organización realiza estimaciones de demanda y planifica su producción en base al análisis de datos históricos?
- 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo
  3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo
34. ¿La organización segmenta sus campañas publicitarias en base al análisis de datos de sus clientes/usuarios?
- 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo
  3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo
35. ¿La organización implementa mejoras en sus procesos en base al análisis de datos históricos?
- 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo
  3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo
36. ¿La organización realiza mejoras a sus productos o servicios en base al análisis de datos históricos y opiniones de sus clientes/usuarios?
- 1: Totalmente en desacuerdo
  2. En desacuerdo

3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
  4. De acuerdo
  - 5: Totalmente de acuerdo
37. ¿Se cuenta con Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información en la organización?
1. No, y no se tiene prevista la adquisición o desarrollo de este tipo de sistema.
  2. No, pero se reconoce su importancia y se tiene considerado implementarlos en el largo plazo.
  3. No, pero su pronta implementación forma parte de la estrategia de la organización.
  4. Sí, estos sistemas se encuentran en desarrollo.
  5. Sí, se cuenta con un área especializada de estos sistemas y/o se cuenta con certificación 27001.

## **II. Herramientas de Big Data**

38. ¿La empresa realiza copias de seguridad o respaldo de su información en algún servicio de nube o almacenamiento online?
1. No. Se utilizan los métodos de almacenamiento tradicionales como disco duro o USB.
  2. No. Se planea utilizar este tipo de sistemas de almacenamiento en el futuro.
  3. Sí. Algunas áreas de la organización usan almacenamiento en la nube u online de manera gratuita.
  4. Sí. Se han adquirido cuentas de almacenamiento para las áreas clave de la organización.
  5. Sí. Se ha adquirido almacenamiento para toda la organización realizan copias de seguridad periódicamente.
39. ¿Se analiza la información en tiempo real, a través del vínculo automático con programas de análisis de datos?
1. No, y no se tiene previsto realizarlo.
  2. No, pero se tiene considerado realizarlo en el largo plazo.
  3. No, pero se cuenta con una estrategia para su implementación.
  4. Sí, se viene implementando en algunos procesos o actividades clave.
  5. Sí, se viene implementando por un periodo mayor o igual a un año en todas las actividades

## ANEXO E: Validación de experto

**Tabla E1: Validación de experto**

Entrevistado	Fecha	Modalidad	Experiencia
Miguel Córdova	12/11/2021	Asincrónica	Ph.D en Gestión Estratégica y Sostenibilidad y profesor de la FGAD en los campos de Operaciones y Logística
Comentarios			
<b>Forma</b>			<p>1. En la pregunta 1 (¿A qué sector pertenece la organización?) podría sugerirse una lista breve de sectores económicos más relevantes en el país, y completar con una casilla para "otros". Esto ayudaría a no tener dispersión innecesaria de datos que luego pueda ser difícil de procesar.</p> <p>2. Considere que en la pregunta 2 (¿En qué región se encuentra localizada la organización? (Según inscripción en SUNARP) podrían facilitar al encuestado una lista desplegable de regiones, para evitar que se desanime en caso tenga que buscar en algún lugar adicional o no tenga claro a qué clasificación se refiere la pregunta.</p> <p>3. La pregunta 3 (¿En qué región(es) del Perú opera la organización?) no se especifica si "opera" se refiere a vende, produce, distribuye, o todas esas. Tal vez se podría expresar de otra forma o ser más explícitos.</p> <p>4. En la pregunta 9 (Seleccione la opción más acorde a la situación de la organización actualmente), pensaría que la explicación en los paréntesis podría sesgar las respuestas de las empresas, ¿es necesario realmente colocar esta información adicional entre paréntesis?</p> <p>5. En la pregunta 12 (Considerando que el nivel 1 es el más bajo y el nivel 5 es el más alto, ¿En qué nivel de madurez considera que se encuentra su organización con respecto a la Industria 4.0?) considero que es mejor no utilizar la palabra "madurez" (que se podría entender de muchas formas por los encuestados), y además en lugar de colocar en las opciones "Nivel 1, Nivel 2,..." se debería colocar la descripción de lo que representaría cada nivel en la empresa. Así sería más sencillo entender y contestar.</p> <p>6. Dado que la pregunta 24 (¿Se aplica la manufactura aditiva en la organización? Ejm. Impresión 3D) es bastante técnica, sugiero poner al menos dos o tres ejemplos más junto con impresión 3D, para que quede más claro.</p> <p>7. La pregunta 25 (¿Qué tan importante es para la organización adaptarse a la Industria 4.0?) no es muy clara, puesto que se puede interpretar como qué tan importante es para la competitividad y crecimiento de la empresa, o también como que tan importante es desde el punto de vista de la dirección y alta gerencia de la empresa.</p>
<b>Contenido</b>			El contenido de las preguntas se consideró pertinente

## ANEXO F: Dimensiones iniciales del modelo propuesto en la investigación

Tabla F1: Dimensiones iniciales del modelo propuesto

Dimensión	Variable	Ítem
Operaciones y procesos	OPE1	¿Asegura la planificación y asignación de recursos anticipada a través de la comunicación automatizada entre áreas de la organización?
	OPE2	¿La organización cuenta con información en tiempo real acerca de su cadena de suministro?
	OPE3	¿Se mantiene comunicación con los socios y/o proveedores involucrados en la cadena de valor?
	OPE4	¿Se tiene automatizado el control de inventarios?
	OPE5	¿Existe un software que permita el flujo de información de manera automatizada e integrada entre las áreas que componen la organización?
	OPE6	¿La organización lleva un control sobre los tiempos de las distintas partes de su proceso?
Tecnología	TEC1	¿Qué tan actualizada se encuentra la maquinaria con la que cuenta su organización en comparación de las últimas tendencias de su industria?
	TEC2	¿Las instalaciones de la organización cuentan con una conexión a internet estable?
	TEC3	¿Los sistemas o máquinas de la organización pueden ser controlados de manera remota?
	TEC4	¿Las máquinas o sistemas que utiliza su empresa tienen la capacidad para conectarse e interactuar entre ellas?
	TEC5	¿Se cuenta con sensores inteligentes en la organización?
	TEC6	¿Se aplica la manufactura aditiva en la organización?
Estrategia	EST1	¿Qué tan importante es para los líderes la adopción de la Industria 4.0 como parte de la estrategia de la organización?
	EST2	¿La empresa cuenta con una hoja de ruta a seguir para la implementación de actividades relacionadas a la Industria 4.0?
	EST3	¿En qué medida la estrategia de la organización y/o modelo de negocio se encuentran alineados a la Industria 4.0?
	EST4	¿La empresa realiza inversiones en Investigación y Desarrollo (I+D) o cuenta con un área encargada para estas funciones?
	EST5	¿Las inversiones en materia de tecnología en la organización responden a una estrategia orientada a la digitalización?
Cultura organizacional	CUL1	¿Los líderes motivan a sus equipos hacia la implementación de la Industria 4.0?
	CUL2	¿Qué tan a menudo la organización ofrece programas de formación continua a sus trabajadores para mantenerlos actualizados con respecto a las nuevas tendencias de su industria?
	CUL3	¿Qué tan a menudo la organización ofrece programas de capacitación en herramientas tecnológicas a sus colaboradores?
	CUL4	¿Considera que las competencias de sus colaboradores en materia de TICs se encuentran actualizadas a los nuevos requerimientos de su industria?
	CUL5	¿La empresa fomenta espacios que permitan el intercambio de conocimientos entre los miembros de la organización?
	CUL6	¿Se pone a disposición de los colaboradores espacios y herramientas que fomenten una cultura de innovación en su organización?
	CUL7	¿Considera que los colaboradores de la organización se encuentran alineados con la cultura y estrategia de la empresa?

**Tabla F1: Dimensiones iniciales del modelo propuesto (continuación)**

Dimensión	Variable	Ítem
Productos y servicios	PRO1	¿A través de qué medios los clientes pueden adquirir los productos y/o servicios ofertados por la organización? Marque las opciones presentes en la organización
	PRO2	¿A través de qué medios los clientes/usuarios pueden acceder al servicio post venta de los productos y/o servicios ofertados por la organización? Marque las opciones presentes en la organización
	PRO3	¿Se utiliza la inteligencia artificial (chatbots) en la atención al cliente/usuario?
	PRO4	¿Cuál es el nivel de personalización de los productos y/o servicios que brinda a los clientes/usuarios?
	PRO5	¿Los productos y/o servicios que la empresa ofrece tienen la capacidad de integrarse con otros artefactos, tales como Siri, Alexa, Asistente de Google, Cortana, etc.?
Datos	DAT1	¿La organización recoge información de sus clientes/usuarios a través de Internet?
	DAT2	¿La organización realiza estimaciones de demanda y planifica su producción en base al análisis de datos históricos?
	DAT3	¿La organización segmenta sus campañas publicitarias en base al análisis de datos de sus clientes/usuarios?
	DAT4	¿La organización implementa mejoras en sus procesos en base al análisis de datos históricos?
	DAT5	¿La organización realiza mejoras a sus productos o servicios en base al análisis de datos históricos y opiniones de sus clientes/usuarios?
	DAT6	¿Se cuenta con Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información en la organización?
	DAT7	¿La empresa realiza copias de seguridad o respaldo de su información en algún servicio de nube o almacenamiento online?
	DAT8	¿Se analiza la información en tiempo real, a través del vínculo automático con programas de análisis de datos?

## ANEXO G: Relaciones entre variables observadas del Modelo inicial

Tabla G1: Relaciones entre variables observadas del Modelo inicial

Relaciones	Estimado	S.E.	C.R.	P-Value
OPE6 ← OPERACIONES	1.21	0.183	6.597	***
OPE5 ← OPERACIONES	1.198	0.184	6.5	***
OPE4 ← OPERACIONES	1.185	0.187	6.347	***
OPE3 ← OPERACIONES	0.884	0.164	5.388	***
OPE2 ← OPERACIONES	0.967	0.153	6.302	***
OPE1 ← OPERACIONES	1			
TEC6 ← TECNOLOGÌA	0.83	0.15	5.544	***
TEC5 ← TECNOLOGÌA	1.278	0.151	8.472	***
TEC4 ← TECNOLOGÌA	1.532	0.168	9.108	***
TEC3 ← TECNOLOGÌA	1.254	0.167	7.489	***
TEC2 ← TECNOLOGÌA	0.577	0.114	5.075	***
TEC1 ← TECNOLOGÌA	1			
EST5 ← ESTRATEGIA	1.375	0.213	6.444	***
EST4 ← ESTRATEGIA	1.631	0.241	6.781	***
EST3 ← ESTRATEGIA	1.19	0.181	6.586	***
EST2 ← ESTRATEGIA	1.499	0.225	6.656	***
EST1 ← ESTRATEGIA	1			
CUL1 ← CULTURA	1			
CUL2 ← CULTURA	1.346	0.18	7.48	***
CUL3 ← CULTURA	1.276	0.172	7.406	***
CUL4 ← CULTURA	1.138	0.165	6.879	***
CUL5 ← CULTURA	1.059	0.164	6.462	***
CUL6 ← CULTURA	1.408	0.189	7.431	***
CUL7 ← CULTURA	0.71	0.124	5.733	***
PRO1 ← PRODUCTOS	1			
PRO2 ← PRODUCTOS	1.153	0.233	4.944	***
PRO3 ← PRODUCTOS	1.472	0.285	5.17	***
PRO4 ← PRODUCTOS	1.557	0.282	5.527	***
PRO5 ← PRODUCTOS	1.562	0.296	5.278	***
DAT1 ← DATOS	1			
DAT2 ← DATOS	0.94	0.148	6.356	***
DAT3 ← DATOS	0.886	0.145	6.105	***
DAT4 ← DATOS	0.856	0.131	6.543	***
DAT5 ← DATOS	0.787	0.125	6.287	***
DAT6 ← DATOS	1.163	0.173	6.744	***
DAT7 ← DATOS	0.972	0.166	5.862	***
DAT8 ← DATOS	1.236	0.183	6.764	***

## ANEXO H: Relaciones entre variables observadas del Modelo final

**Tabla H1: Relaciones entre variables observadas del Modelo final**

Relaciones	Estimado	S.E.	C.R.	P-Value
OPE6 ← OPERACIONES	1.297	0.176	6.597	***
OPE5 ← OPERACIONES	1.328	0.179	6.5	***
OPE4 ← OPERACIONES	1.339	0.18	6.347	***
OPE2 ← OPERACIONES	1.000			
TEC5 ← TECNOLOGÌA	1.299	0.162	8.011	***
TEC4 ← TECNOLOGÌA	1.600	0.182	8.778	***
TEC3 ← TECNOLOGÌA	1.341	0.178	7.520	***
TEC1 ← TECNOLOGÌA	1			
CUL7 ← CULTURA	0.740	0.130	5.674	***
CUL6 ← CULTURA	1.459	0.202	7.215	***
CUL5 ← CULTURA	1.112	0.174	6.390	***
CUL4 ← CULTURA	1.193	0.176	6.769	***
CUL3 ← CULTURA	1.292	0.182	7.081	***
CUL2 ← CULTURA	1.360	0.190	7.141	***
CUL1 ← CULTURA	1.000			
PRO3 ← PRODUCTOS	1.000			
PRO4 ← PRODUCTOS	1.133	0.181	6.255	***
PRO5 ← PRODUCTOS	1.222	0.196	6.220	***
DAT2 ← DATOS	1			
DAT3 ← DATOS	0.932	0.119	7.842	***
DAT4 ← DATOS	0.936	0.103	9.102	***
DAT5 ← DATOS	0.839	0.101	8.317	***
DAT6 ← DATOS	1.084	0.134	8.060	***
DAT8 ← DATOS	1.147	0.142	8.066	***

## ANEXO I: Relaciones entre variables no observadas del Modelo final

Tabla I1: Relaciones entre variables no observadas del Modelo final

Relación	Estimado	S.E.	C.R.	P-Value
OPE ↔ TEC	0.496	0.099	5.020	***
OPE ↔ CUL	0.239	0.068	3.500	***
OPE ↔ PROD	0.231	0.105	4.093	***
OPE ↔ DAT	0.475	0.098	4.833	***
TEC ↔ CUL	0.348	0.077	4.517	***
TEC ↔ PROD	0.451	0.102	4.411	***
TEC ↔ DAT	0.486	0.093	5.206	***
CUL ↔ PROD	0.353	0.088	4.007	***
CUL ↔ DAT	0.435	0.089	4.868	***
PROD ↔ DAT	0.405	0.099	4.068	***

