



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS**  
**“FRANCISCO GARCÍA SALINAS”**

**UNIDAD ACADÉMICA EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO**  
**DOCTORADO EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO**

**CONDICIONES DE PAÍSES Y ENTIDADES FEDERATIVAS DE**  
**MÉXICO ANTE LA INDUSTRIA 4.0: UNA PROPUESTA DE**  
**MEDICIÓN**

**TESIS PRESENTADA POR:**

Mtra. María de los Ángeles Ortiz Espinoza

**PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN ESTUDIOS DEL**  
**DESARROLLO**

Director: Dr. Guillermo Foladori Abeledo

Codirector: Dr. Edgar Záyago Lau

Zacatecas, Zac., México, agosto de 2024

**Ortiz Espinoza, María de los Ángeles**

Condiciones ante la Industria 4.0: una propuesta de medición / por María de los Ángeles Ortiz Espinoza - Zacatecas, Zac., México, 2024.

**Director: Guillermo Foladori Abeledo**

Tesis en Estudios del Desarrollo Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Estudios del Desarrollo.

1. Industria 4.0. 2. Política de Desarrollo Productivo.

3. Índice de Condiciones. 4. Política industrial.

I. Guillermo Foladori II. Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad de Estudios del Desarrollo III. Componentes de la Industria 4.0: una propuesta de medición.



**SOMOS**  
ARTE, CIENCIA Y  
DESARROLLO  
CULTURAL



Of. No. UAED/ 0608/1621

Zacatecas, Zacatecas a 06 de agosto de 2024

**Dra. Samantha Deciré Bernal Anaya**  
Jefa del Departamento Escolar  
Universidad Autónoma de Zacatecas  
PRESENTE

Por este medio, me permito hacer de su conocimiento que una vez leído y revisado el trabajo de tesis intitulado "Condiciones ante la industria 4.0: una propuesta de medición", el cual ha sido elaborado por la alumna **Ortiz Espinoza, María de los Ángeles** con matrícula 20204613 del Doctorado en Estudios del Desarrollo, se ha determinado que este cumple con los requisitos teórico - metodológicos para la obtención de grado.

No existe ningún inconveniente para que se lleve a cabo la impresión de su trabajo y se determine fecha de examen de titulación.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial y afectuoso saludo.

**ATENTAMENTE**

Dr. Guillermo Foladori

Director de tesis

c.c.p. estudiante  
c.c.p. archivo

Como todo y como siempre: al Absoluto

Absit Iniuria Verbo

## AGRADECIMIENTOS

A Conahcyt y la UAZ por facilitar los medios.

A mi comité por los comentarios y el seguimiento.

A Fola por su infinita disposición y apoyo.

A mi mamá y a mi hermano solamente porque los quiero.

A Irack Rivera por mantenerme en pie desde algún día de agosto de 2005.

A Carlitos porque lo encontré.

Esta tesis se realizó gracias al apoyo de las becas Conahcyt y forma parte del proyecto Conahcyt Ciencia de Frontera 2019 No. 304320, una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México, apoyado por el Fondo Fordecyt-Pronaces

## **RESUMEN**

La presente tesis revisa los elementos de la Industria 4.0 (I4.0): los técnicos, los teóricos y los de política pública; el objetivo general ha sido analizar sus implicaciones en el desarrollo de la I4.0 en México y el mundo. Para lograrlo, se llevó a cabo una revisión de los componentes técnicos y teóricos del concepto, profundizando en algunos elementos de política pública involucrados. El trabajo retoma y adecúa la noción de políticas de desarrollo productivo (PDP) para elaborar un índice que mide las condiciones de algunos países y las entidades federativas de México ante el desarrollo de la I4.0. Entre los principales hallazgos se encuentra que las condiciones de la I4.0 responden a dinámicas de diferenciación previas entre países y regiones, por lo que es posible afirmar que la tecnologización de los sectores productivos, más que crear nuevas desigualdades, profundiza las ya existentes.

### **Palabras clave**

Industria 4.0, política de desarrollo productivo, Índice de Condiciones, política industrial

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1 INNOVACIONES TECNOLÓGICAS: DESARROLLO, ESTADO Y SEGMENTACIÓN.....	6
1.1 Innovación y desarrollo tecnológico: aproximaciones desde el desarrollo .....	6
1.1.1 PERSPECTIVAS DEL DESARROLLO .....	6
1.2 La innovación y las revoluciones tecnológicas.....	14
1.2.1 BREVE RECORRIDO POR LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES .....	19
1.3 Intervención del Estado en ciencia, tecnología e innovación .....	22
1.3.1 REGULACIÓN .....	23
1.3.2 IMPULSO A LA GENERACIÓN DE INNOVACIONES Y REDUCCIÓN DEL CONFLICTO .....	25
1.3.3 DIFUSIÓN, IDEOLOGÍA Y LEGITIMACIÓN .....	29
1.4 Desarrollo tecnológico y segmentación .....	32
1.5 Algunas reflexiones .....	35
Capítulo 2 COMPONENTES DE LA INDUSTRIA 4.0.....	36
2.1 Componentes de la I4.0 .....	37
2.1.1 EL ELEMENTO TÉCNICO: TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS .....	37
2.1.2 INDUSTRIA 4.0 COMO POLÍTICA PÚBLICA .....	54
2.2 Midiendo la I4.0.....	62
2.3 Riesgos, desafíos y expectativas de la I4.0.....	65
2.4 Algunas reflexiones .....	75
Capítulo 3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS DE POLÍTICA .....	77
3.1 Evaluación comparativa. Variables distintivas.....	78
3.1.1 ALEMANIA.....	78
3.1.2 ESTADOS UNIDOS .....	80
3.1.3 JAPÓN .....	85
3.1.4 CHINA .....	87
3.1.5 PRINCIPALES HALLAZGOS: VARIABLES DISTINTIVAS.....	89
3.2 Evaluación comparativa. América Latina.....	93
3.2.1 BRASIL .....	93
3.2.1 ARGENTINA.....	94
3.2.3 MÉXICO.....	95
3.2.4 PRINCIPALES HALLAZGOS: AMÉRICA LATINA.....	98

3.3 Algunas reflexiones .....	102
Capítulo 4 INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS DE DESARROLLO PRODUCTIVO EN MÉXICO .....	104
4.1 Herramientas de planeación nacionales .....	111
4.2 Política de desarrollo Productivo a nivel subnacional .....	114
4.2.1 AGUASCALIENTES .....	115
4.2.2 MORELOS .....	116
4.2.3 NUEVO LEÓN.....	117
4.2.4 GUANAJUATO .....	119
4.2.5 HALLAZGOS DE LA POLÍTICA A NIVEL SUBNACIONAL .....	123
4.3 Algunas reflexiones .....	131
Capítulo 5 METODOLOGÍA Y RESULTADOS ÍNDICE DE CONDICIONES ANTE LA INDUSTRIA 4.0.....	133
5.1 ¿Qué es un indicador compuesto? .....	134
5.2 Metodología .....	135
5.2.1 INDICADORES, DATOS Y SUBÍNDICES .....	135
5.2.2 NORMALIZACIÓN Y AGREGACIÓN DE COMPONENTES .....	141
5.3 Resultados .....	143
5.3.1 ÍNDICE DE CONDICIONES ANTE LA INDUSTRIA 4.0 POR ENTIDAD FEDERATIVA.....	143
5.3.2 ÍNDICE DE CONDICIONES ANTE LA INDUSTRIA 4.0 POR PAÍSES.....	152
5.4 Algunas reflexiones .....	159
CONCLUSIONES.....	162
REFERENCIAS .....	177
SEMBLANZA.....	195



## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1-1 Características de la revolución tecnológica del S. XXI.....	17
Tabla 1-2 Evolución de las Revoluciones Industriales.....	21
Tabla 2-1 Principales tecnologías aplicadas en la Industria 4.0.....	39
Tabla 2-2 Diferencias entre las diferentes generaciones de redes móviles .....	44
Tabla 2-3 Estrategias de IA para América Latina .....	50
Tabla 2-4 Evolución de las Políticas de Desarrollo Productivo .....	61
Tabla 2-5 Potencialidades y riesgos de las principales tecnologías de la Industria 4.0 .....	73
Tabla 3-1 Matriz comparada de política de la Industria 4.0.....	101
Tabla 4-1 Leyes, organismos y programas nacionales vinculados a la PDP.....	108
Tabla 4-2 Estrategias Aguascalientes, Morelos, Nuevo León y Guanajuato .....	122
Tabla 4-3 CTI, sectores estratégicos, y capacitación y educación tecnológica en los PED126	
Tabla 5-1 Descripción de variables. ICI 4.0 estatal.....	137
Tabla 5-2 Descripción de variables. ICI 4.0 nacional .....	138
Tabla 5-3 Puntuación total ICI 4.0 estatal .....	150
Tabla 5-4 Entidades con mayos disminución de la pobreza y mayor puntaje ICI 4.0 .....	151
Tabla 5-5 Puntuación total ICI 4.0 nacional.....	158
Figura 2-1 Pilares de la PDP para la Industria 4.0 .....	58
Figura 5-1 ICI 4.0 estatal.....	145
Figura 5-2 Políticas de ciencia tecnología. ICI 4.0 estatal .....	146
Figura 5-3 Políticas comerciales. ICI 4.0 estatal .....	146
Figura 5-4 Mipymes. ICI 4.0 estatal.....	148
Figura 5-5 Políticas sectoriales. ICI 4.0 estatal .....	148
Figura 5-6 Economía resiliente. ICI 4.0 estatal .....	149
Figura 5-7 ICI 4.0 nacional.....	153
Figura 5-8 Políticas de ciencia tecnología. ICI 4.0 nacional .....	154
Figura 5-9 Políticas comerciales. ICI 4.0 nacional.....	155
Figura 5-10 Mipymes. ICI 4.0 nacional .....	156
Figura 5-11 Políticas sectoriales. ICI 4.0 nacional.....	157
Figura 5-12 Economía resiliente. ICI 4.0 nacional.....	157

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

4RI	Cuarta Revolución Industrial
5G	Redes de quinta generación de Internet inalámbrico
CCI	Centros de Innovación Industrial
Cecati	Centros de Capacitación para el Trabajo Industrial
Cidfort	Centro de Investigación y Desarrollo de la Formación para el Trabajo
Conacyt	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CPS	Sistemas ciberfísicos
CTI	Ciencia, tecnología e innovación
CyT	Ciencia y tecnología
ESS	Economía social y solidaria
FEM	Foro Económico Mundial
Fomix	Fondos Mixtos
Fordecyt	Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación
I+D	Investigación y Desarrollo
I4.0	Industria 4.0
IAT	Índice de adelanto tecnológico
ICI 4.0	Índice de Condiciones ante la I4.0
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones
ICI 4.0	Índice Condiciones ante la I4.0
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad
Inegi	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IoT	Internet de las Cosas
ISO	Organización Internacional de Normalización
LFT	Ley Federal del Trabajo

LFTR	Ley Federal de Telecomunicaciones
LGAHOTDH	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Humano
M2M	Machine to Machine
Mipymes	Micro, pequeñas y medianas empresas
MTOM	Mecanismo de Optimización de Transmisión de Mensajes
NMX	Normas Mexicanas
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
NYCE	Instituto de Normalización y Certificación
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMC	Organización Mundial de Comercio
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PED	Plan Estatal de Desarrollo
PDP	Política de Desarrollo Productivo
PIB	Producto interno bruto
PND	Plan Nacional de Desarrollo
Prosoft	Programa para la industria del Software
Reniecyt	Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas
Rycit	Red de Indicadores de Ciencias y Tecnología Interamericana e Iberoamericana
SE	Secretaría de Economía
Segob	Secretaría de Gobierno
SEM	Sistema Educativo Mexicano
SI	Sistemas de innovación
SIA	Sistema de Inteligencia Artificial
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
UNESCO	Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNIDO	Organización para el Desarrollo Industrial de Naciones Unidas



# INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 (I4.0) se refiere a la forma de producción actual basada en la alta tecnologización, entendida como el proceso mediante el cual se integran y aplican tecnologías disruptivas en diferentes sectores, y la gestión de grandes cúmulos de datos mediante algoritmos de inteligencia artificial (IA). Aunque la I4.0 incorpora varias tecnologías preexistentes, se distingue como una nueva revolución tecnológica. Sus características principales incluyen la dependencia de cierto tipo de conectividad y el uso de IA para el procesamiento de *big data*.

El desarrollo de la I4.0, como todo cambio en los procesos productivos, implica una profundización en la inequidad social y una intervención estatal que, en apariencia, pretende atenuarla. Por ejemplo, la conectividad industrial, uno de los elementos clave de la I4.0, requiere intervención estatal debido a que la administración del espectro radioeléctrico es de dominio estatal (LFTR, 2014). Además, el despliegue de la I4.0 es un objetivo central de las políticas industriales o de desarrollo productivo (PDP)<sup>1</sup> de los países. No obstante, siendo una industria sustentada en alta tecnología, los costos de aprendizaje y despliegue son cada vez más altos, dificultando alcanzar la frontera tecnológica y, por ende, mantener o incrementar la productividad.

En el marco de estos cambios tecnológicos, se están dejando de lado consideraciones importantes sobre los impactos no deseados, priorizándose un discurso positivo sobre las repercusiones del avance tecnológico. Aunque hoy en día es impensable restringir el uso o desarrollo de nuevas tecnologías, es crucial reconocer sus efectos negativos para prever sus afectaciones. Es imprescindible analizar cada uno de los elementos que componen el concepto de I4.0 no sólo desde la perspectiva técnica, sino también teórica y, especialmente, en relación con la intervención estatal a través de políticas de desarrollo. El Estado es uno de los principales impulsores de la innovación, la ciencia y la tecnología, y juega un papel fundamental en el establecimiento de herramientas que contrarresten los efectos negativos del avance tecnológico.

---

<sup>1</sup> Como se verá más adelante si bien estos conceptos comparten algunos atributos, tienen diferencias consistentes que se explicarán en lo posterior, aunque no es objetivo de esta tesis ahondar en dichas diferencias.

Desde el siglo XIX, las revoluciones tecnológicas se han basado en la explotación de diversas formas de energía. Sin embargo, a partir del siglo XX, se ha producido un cambio significativo hacia tecnologías basadas en la información y la comunicación (TIC), dando lugar a una revolución tecnológica de las TIC. A diferencia de las revoluciones anteriores que nacían en un sector industrial y se expandían a otros, el grado y velocidad de expansión de las TIC resulta del carácter facilitador de estas tecnologías. Estas tecnologías son consideradas de propósito múltiple y homogeneizaron rápidamente todas las ramas productivas debido a la necesidad universal de la información digitalizada.

Las nanotecnologías, compartiendo la característica multipropósito de las TIC, se consideran de superpropósito general. Son fundamentales en el desarrollo de la Cuarta Revolución Industrial (4RI), posibilitando tecnologías clave como *big data*, IoT, Mobile Cloud Computing, M2M, redes 5G, *machine learning*, robótica, materiales inteligentes, nuevos materiales e impresión 3D, entre otras: tecnologías disruptivas asociadas a la I4.0, detonante de la 4RI. Aunque estas tecnologías existían antes de la creación de ambos términos, tres características destacan su novedad: a) la velocidad de transmisión de datos, b) la capacidad de conexión entre seres vivos, materia no viva y equipos, y c) el aprendizaje automático. Aunque la mayoría de estas características se expresan de manera virtual, están necesariamente vinculadas a dispositivos materiales. A través de estas tecnologías, la I4.0 busca la completa automatización de procesos, y una alta flexibilidad y anticipación del comportamiento de consumidores y productores, una perspectiva no planteada en revoluciones anteriores de manera tan amplia.

Si bien toda revolución tecnológica organiza la sociedad en torno a un eje central, la 4RI se caracteriza por la interrelación de diversas tecnologías, pero hay elementos económicos y tecnológicos robustos que la identifican particularmente: la suma de tecnologías puede resultar en un salto cualitativo que no se vislumbra en el análisis de casos individuales. Aunque existe abundante literatura sobre el tema, generalmente aborda la I4.0 desde una perspectiva técnica y de negocios, destacando las ventajas socioeconómicas esperadas. La articulación de las tecnologías preexistentes permite que el aumento de la productividad y la reducción de tiempos muertos no sólo ocurra dentro de cada empresa, sino también entre procesos de producción separados que integran una cadena de producción. La reducción de tiempos y procesos, el acceso a regiones antes inalcanzables o económicamente

inexplotables, la generación de grandes cantidades de información y la disminución de la mano de obra requerida para ciertas tareas son algunas repercusiones de la implementación de estas tecnologías.

Existen dos posturas respecto a las repercusiones sociales de los avances tecnológicos: una sostiene que las nuevas tecnologías mejoran la calidad de vida al reducir riesgos laborales, incrementar la esperanza de vida y permitir el acceso a grandes cúmulos de información. La otra anticipa riesgos como la suplantación de la fuerza laboral humana, la sobreproducción de ciertos productos y la extinción de trabajos existentes. Ambas posturas contienen algo de verdad, pero es previsible que la generación y expansión de nuevas tecnologías implique la aparición o profundización de desigualdades regionales y sociales. Es crucial contribuir al diagnóstico y generación de estrategias para que el desarrollo tecnológico vaya acompañado de una mayor inclusión y mejore la satisfacción de las necesidades de poblaciones vulnerables. Asumiendo que una de las funciones del Estado es reducir desigualdades sociales y promover el desarrollo en ciencia y tecnología (CyT), este proyecto pretende evaluar las repercusiones de la intervención y la no intervención estatal en el desarrollo de la I4.0 en diferentes regiones del país. Asimismo, busca identificar las variables y actores que influyen en la asignación de fondos públicos a ciertas líneas de investigación relacionadas con la materia.

El objetivo general del proyecto es analizar los efectos de la intervención estatal en las condiciones de las entidades y países ante I4.0, así como examinar los componentes e implicaciones del desarrollo de la I4.0 en México y en el mundo. Para lograrlo, se busca analizar los elementos que componen el concepto de I4.0; comparar las estrategias de política utilizadas para el fomento al desarrollo productivo a nivel global; estudiar qué variables se consideran para el fomento a la I4.0 y su nivel de afectación en el desarrollo; identificar las capacidades de algunos países y las entidades federativas en México frente a las tecnologías disruptivas a nivel mundial; y construir un índice que exponga las condiciones de algunos países y de las entidades federativas del país ante el desarrollo de la I4.0.

Más allá del elemento técnico, la pregunta general que se plantea esta tesis es: ¿cuáles son los efectos de la intervención estatal en las condiciones de la I4.0? Para abordar esta cuestión, las preguntas específicas a responder son: ¿cuáles son los elementos que definen las condiciones de entidades y países ante el desarrollo de la I4.0? ¿Cuáles son las estrategias

de política utilizadas para fomentar el desarrollo productivo a nivel global y estatal? ¿Qué variables impactan y en qué medida en el desarrollo de la I4.0? ¿Cómo se posiciona México frente a la I4.0 en términos de desarrollo y políticas implementadas? ¿Cuál es el nivel de preparación de las entidades federativas en México en cuanto a los componentes de la I4.0?

La hipótesis inicial sugiere que la I4.0 trasciende una definición técnica y su aplicación no se limita únicamente al entorno industrial. Uno de los elementos fundamentales para entender el desarrollo de la I4.0 está vinculado a la existencia de políticas públicas que orienten el desarrollo industrial y comercial a nivel nacional, con el objetivo de generar un desarrollo productivo más equitativo y resiliente. Sin embargo, aunque existen diferentes estrategias de política orientadas a la implementación de la I4.0, estas no consideran políticas cuyo objetivo sea atenuar los posibles efectos negativos de su despliegue. En México, aunque se han creado políticas nacionales para el desarrollo de la I4.0, estas han sido diseñadas sin un conocimiento profundo de sus implicaciones y dejan de lado la participación de las políticas subnacionales, así como las diferencias contextuales de las entidades federativas. Esto ha provocado una profundización de las diferencias regionales tanto a nivel global como al interior del país, resultando en un crecimiento industrial desequilibrado e inequitativo.

La investigación sugiere que las PDP carecen de un enfoque en pro nivelar el aspecto tecnológico aun cuando a medida que la industria y el mercado laboral se tecnifican, alcanzar la igualdad será cada vez más difícil debido a la creciente brecha de conocimiento. Las diferencias tecnológicas profundizan las desigualdades sociales ya establecidas, a la vez que una infraestructura social deficiente genera insuficiencia en las capacidades tecnológicas creándose un círculo vicioso de inequidad social.

La falta de datos consistentes y públicos sobre el uso de tecnologías en los sectores productivos limita el análisis. A pesar de las inconsistencias y la escasez de información, la investigación confirma que las políticas públicas orientadas al desarrollo industrial y productivo profundizan las desigualdades en lugar de promover un crecimiento equitativo. En México, la falta de una estrategia industrial nacional coherente ha resultado en un desarrollo desigual entre las entidades federativas.

El estudio realizado muestra que las diferencias tecnológicas no necesariamente crean nuevas desigualdades, sino que amplían las existentes. Las entidades y países que ya eran competitivos tienden a fortalecer sus capacidades tecnológicas, mientras que aquellos con



necesidades más básicas destinan sus recursos a otras áreas, perpetuando las disparidades tecnológicas y sociales.

Además de esta introducción, el presente trabajo está dividido en cinco capítulos y un apartado de conclusiones. El capítulo I tiene por objetivo hacer un acercamiento a la concepción de desarrollo desde la innovación tecnológica y el papel del Estado en este proceso. Por su parte, el capítulo II ofrece una descripción profunda de la I4.0: cuáles son sus componentes, cómo se ha medido y cuáles son los riesgos y desafíos que presenta. En el capítulo III se expone el análisis realizado sobre la evaluación comparativa de políticas públicas en naciones destacadas e interesadas en el desarrollo de la I4.0. A continuación, el capítulo IV ofrece un acercamiento al estudio del caso mexicano, presentando el análisis documental realizado sobre los instrumentos de planeación nacionales y estatales vinculados al despliegue de la I4.0, exponiendo las principales regulaciones, normativas y organismos federales que tienen repercusiones en el desenvolvimiento de la I4.0. En el capítulo V se presenta la metodología para la elaboración del Índice de Condiciones ante la I4.0, así como los resultados de su aplicación a nivel nacional y estatal. Finalmente, se exponen las principales conclusiones.

# **CAPÍTULO 1 INNOVACIONES TECNOLÓGICAS: DESARROLLO, ESTADO Y SEGMENTACIÓN**

## **1.1 INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO: APROXIMACIONES DESDE EL DESARROLLO**

El concepto de desarrollo surge a finales de los años cuarenta como un proyecto geopolítico entendido como crecimiento económico y vinculado a la idea de progreso en su relación con la industrialización y la modernización (Veltmeyer & Bowles, 2019). Sin embargo, el entendimiento del término ha experimentado una importante transformación a tal punto que en la actualidad ya no es viable entender al desarrollo desde una perspectiva netamente economicista. Las definiciones y mediciones actuales del concepto engloban un sinnúmero de variables e indicadores que incluyen diferentes aspectos que inciden en la calidad de vida y el entorno (López-Calva & Vélez Grajales, 2003).

Este apartado plantea una exploración de las diferentes acepciones del concepto de desarrollo, mismo que fue evolucionando de una comprensión economicista que lo equiparaba con la noción de crecimiento económico, hasta una concepción mucho más robusta que considera elementos como calidad de vida y medio ambiente. El objetivo principal de este apartado es destacar el papel del progreso tecnológico en lo que se ha entendido por desarrollo en las últimas décadas. Se señala como los avances en investigación, innovación y tecnología, si bien por lo general han tenido un origen vinculado al desarrollo de las fuerzas productivas, también han contribuido a la resolución de problemas sociales. Por cuestiones por no ser el objetivo principal a desarrollar, el presente texto no ahonda en otras definiciones y conceptos vinculados a la idea de desarrollo tales como bienestar y calidad de vida.

### **1.1.1 PERSPECTIVAS DEL DESARROLLO**

Desde las primeras concepciones de desarrollo establecidas en los años cincuenta, el conocimiento científico y los avances tecnológicos han ocupado un lugar preponderante en la discusión sobre el tema empezando por sus implicaciones en lo que toca al incremento de

la productividad. Durante esta década, uno de los argumentos que sustentaron las intervenciones desarrollistas en los países de la periferia fue que una de las causas de la pobreza era el déficit de conocimiento; varios programas internacionales sobre intervención y transferencia tecnológica se generaron en función de que los países en vías de desarrollo carecían de elementos para generar conocimiento propio y producir nuevas tecnologías por lo que estaban supeditados a las transferencias tecnológicas (Borda-Rodríguez & Lanfranco, 2010); situación que aun en años más recientes no ha sido del todo atendida.

La dependencia hacia las transferencias tecnológicas fue una de las razones del fracaso del modelo de industrialización por sustitución de importaciones (ISI), pues la falta de producción propia de conocimiento y tecnología fue un asunto que no se atendió de manera interna y contribuyó a la relación de dependencia periferia-centro (Kay, 2019), además, el ISI suponía la dirección del Estado como la única manera de generar un progreso tecnológico de forma acelerada (Hunt, 1989) por lo que la implementación de políticas internas en la materia, habrían resultado indispensables en el procesos de industrialización. Cabe señalar que este último punto, fue retomado por las vertientes neoestructuralistas, que consideraban al Estado como motor fundamental para la expansión y promoción de la innovación y las competencias tecnológicas (Kay, 2019).

Durante buena parte de la segunda mitad del siglo XX, prevalecieron las definiciones estructuralistas sobre el desarrollo que enfatizaban los factores estructurales y al avance tecnológico; para estas definiciones, el proceso de desarrollo implica necesariamente el progreso tecnológico en función del incremento de la productividad. Lo anterior queda ejemplificado en la definición de subdesarrollo entendida como la caída del nivel tecnológico de algunas ramas de la economía por debajo del nivel tecnológico del sector más avanzado y por debajo del nivel que podría alcanzarse con tecnologías conocidas (Furtado en Hunt, 1989). Por el contrario, el desarrollo económico es la introducción de nuevas combinaciones de factores de producción para incrementar la productividad laboral, lo que necesariamente implica cambios tecnológicos (Furtado en Hunt, 1989).

Como se mencionó anteriormente, en la década de los cincuenta, buena parte de la asistencia técnica implicó la transferencia de tecnología y de conocimientos a países no desarrollados que de apoco fueron incorporando no sólo la mera transferencia, sino que también hicieron énfasis en esquemas de capacitación y asesoramiento. En las décadas

posteriores, de los sesentas a los ochentas, surgieron perspectivas que señalaban que la transferencia tecnológica de países desarrollados a países no desarrollados tenía el problema de que los conocimientos tecnológicos no podían ser transferidos de forma inmediata debido a las propias fronteras culturales y técnicas que existían en los países subdesarrollados: el uso de las tecnologías no tendría el mismo grado de eficiencia que en los países desarrollados (Powell, 2006). Para la década de los ochentas se originó un cambio de perspectiva en cuanto a la apropiación del conocimiento dando paso a un enfoque más participativo en lo que respecta a la producción y transferencia de tecnología; en esta década se empieza a considerar la inclusión de los saberes y del conocimiento autóctono de países en vías de desarrollo (Borda-Rodríguez & Lanfranco, 2010). Cabe destacar que este enfoque participativo y la consideración hacia los conocimientos y saberes locales, fue una tendencia que se retoma en las perspectivas posdesarrollistas de años más recientes (Barkin & Lemus, 2015).

Si bien la agenda neoliberal del Consenso de Washington propició la entrada de capital a través de inversiones extranjeras directas orientadas principalmente a los servicios de alta tecnología vinculados con la información y la comunicación, así como a la extracción de recursos naturales (Petras & Veltmeyer, 2019), Patel (2005) menciona que además del importante papel de la tecnología en el desempeño productivo, también existe un papel social de la misma; más allá del conocimiento científico aplicado en el incremento de la productividad, el recurso tecnológico también juega un papel importante en el proceso de desarrollo a nivel individual y sostiene que la tecnología y el conocimiento son algunos de los factores más críticos en el proceso de desarrollo con un impacto aún mayor en épocas recientes pues han jugado un papel importante en la disminución de desigualdades sociales. Sin embargo, el mismo autor sostiene que la capacidad de apropiación de las nuevas tecnologías por parte del sector social depende tanto de la intervención estatal como del rompimiento de los límites impuestos para el acceso a la innovación tecnológica (Patel, 2005).

En relación al punto anterior, Borda-Rodríguez y Lanfranco (2010) señalan la importancia del papel de las corporaciones y las transnacionales al tener buena parte la producción científica y tecnológica a través de la protección a la innovación y los derechos de propiedad intelectual, las patentes, con lo que se crean fronteras en el campo de la innovación particularmente en lo que respecta a bio y nanotecnología. A partir de esto es

posible decir que, si bien desde la perspectiva del desarrollo humano sería posible afirmar que las tecnologías y las relaciones tecnológicas pueden ayudar a la ampliación de capacidades individuales, para que esto ocurra es necesario que se modifiquen ciertos derechos de propiedad intelectual para que la sociedad civil pueda apropiarse de este conocimiento y utilizarlo a fin de satisfacer ciertas necesidades o de reducir carencias.

Ya desde la década de los años setenta, se fue fortaleciendo la idea de que se había logrado generar riqueza sin la necesidad de la fuerza humana de trabajo debido al desempeño de las máquinas; este pensamiento cobró mayor relevancia en las décadas posteriores aludiendo a la pérdida de centralidad del trabajo para dar lugar a la preponderancia de la tecnología, la información y el conocimiento (Sotelo Valencia, 2020). Según la teoría marxista, el proceso de desarrollo capitalista se basa en una serie de transformaciones productivas en las que se pretende sustituir el trabajo humano por tecnología, es decir, se busca el incremento de la composición orgánica del capital, al tiempo que se generan nuevas divisiones internacionales del mismo propiciando la inclusión y exclusión de ciertas regiones y grupos en el proceso de desarrollo tecnológico (Borda-Rodríguez & Lanfranco, 2010).

Lo señalado anteriormente es la lógica de todas las revoluciones tecnológicas que se han generado a lo largo de la historia: la primera de las cuales se caracterizó por el aumento en la capacidad de producción como consecuencia de la mecanización; la segunda basada en la generación y utilización de energía eléctrica; la tercera fundamentada en las TIC, y por último, la llamada 4RI, derivada de la I4.0, que presenta la particularidad de centrarse en la digitalización y la capacidad de conectividad entre máquinas, personas, procesos y entorno a fin de compartir los grandes cúmulos de información generada. Más aún, desde ciertas perspectivas, la globalización misma es consecuencia de las innovaciones que han llevado a un incremento acelerado de la interconexión (Stiglitz, 2002, y Huwart y Verdier, 2013 en Hosseini & Gills, 2019), factor que proponemos como nuclear en el entendimiento de la I4.0.

El desarrollo del conocimiento alude al término de sociedad de la información acuñado por Castells (2000); si bien el desarrollo económico tradicional depende en gran parte de los recursos naturales, del trabajo y de la acumulación de capital, en la economía actual, basada en la información, el conocimiento y la conectividad, el desarrollo depende más de la capacidad de gestionar la información producida para determinar el nivel de desarrollo (Borda-Rodríguez & Lanfranco, 2010). En este sentido, algunos autores señalan

que muchas sociedades no han sido capaces de beneficiarse de esta información y conocimiento para la mitigación de pobreza o la mejora en la calidad; para que esto ocurra es necesario establecer ciertos parámetros para el uso de la información a fin de incrementar el desarrollo desde una perspectiva diseñada para optimizar la socialización y el uso de esta por las comunidades o los sectores sociales locales y que estos últimos puedan gestionar el conocimiento (Talisayon, 2008). Desde la perspectiva de desarrollo humano, se ha visto que ciertos sectores sociales han mejorado sus condiciones de vida a través de la construcción de sus propios proyectos de desarrollo, algunos de los cuales han incorporado proyectos de CyT con los saberes autóctonos para generar bienestar (Barkin & Lemus, 2015).

Para lograr este objetivo, resulta reconocible que uno de los actores que tiene mayores facultades para establecer u otorgar capacidades de apropiación del conocimiento y la tecnología es el Estado. En este sentido, se destaca que el acceso a la información y la conectividad misma se han convertido en una variable a considerar dentro de la acepción de las necesidades básicas, desde donde surge la propuesta estratégica de lograr el desarrollo a partir de la transformación productiva tomando como base las TIC (Lipietz, 1997 en Veltmeyer, 2010)).

Las propias mediciones de desarrollo humano toman en cuenta la inclusión del factor tecnológico incluido en el Índice de Adelanto Tecnológico (IAT) que mide factores como: 1) creación de tecnología (patentes e ingresos per cápita, y licencias), 2) difusión de innovaciones recientes (número de sitios de internet per cápita y tasa de exportaciones de alta y mediana tecnología), 3) difusión de innovaciones (número de teléfonos y consumo per cápita de electricidad) y 4) aptitudes humanas (escolaridad promedio de la población de cinco años o más y tasa bruta de matriculación en áreas científicas) (López-Calva & Vélez Grajales, 2003).

Así, aun cuando la tendencia de buena parte del avance tecnológico es la expansión capitalista, se han retomado algunas de las tecnológicas existentes para incrementar la productividad hacia finalidades distintas a la producción, como es el caso de la disminución de las vulnerabilidades y la desigualdad social (FEM, 2019a). En años recientes, el grupo específico para el tratamiento de temas relacionados a la sociedad y la innovación del Foro Económico Mundial (FEM), considera tres elementos sobre cómo enfrentará la sociedad civil los retos planteados por la llamada 4RI: 1) el reconocimiento de la sociedad del rol de la

tecnología en la resolución de nuevos y viejos problemas sociales; 2) la respuesta de las organizaciones de la sociedad civil para resolver las tensiones propiciadas por la implementación de la I4.0, y 3) la necesidad de que las organizaciones de la sociedad civil realicen propuestas críticas para liderar áreas clave de la 4RI (FEM, 2019a).

De acuerdo al reporte del FEM (2019a), las principales tecnologías de la I4.0 que se han utilizado para la resolución de problemas sociales son: la gestión de datos, el IoT, IA y aprendizaje automático, *blockchain*, drones y vehículos autónomos, impresión 3D, realidad virtual y aumentada, y biotecnologías. Estas tecnologías han sido utilizadas por algunas organizaciones de la sociedad civil en la resolución de problemas sociales que se pueden agrupar en cinco categorías: 1) comprender a las comunidades y sus necesidades, 2) la prestación de servicios de precisión, 3) comunicar nueva información de manera más efectiva, 4) el seguimiento, compilación y verificación de información, y 5) pronosticar tendencias e influir en la toma de decisiones (FEM, 2019a).

Como hemos visto, más allá de la responsabilidad que algunos internacionales dejan en manos de la sociedad civil para la apropiación tecnológica, para que esto sea posible es necesaria la participación estatal y la implementación de estrategias pertinentes para que el acceso a la tecnología de los diversos sectores sociales sea viable. En este punto resalta lo establecido en la perspectiva de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteada desde la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y que considera al desarrollo como un modelo de promoción de oportunidades económicas, que genera un mayor bienestar social sin omitir la protección del medio ambiente (ONU, 2015). Con la firma de la Agenda 2030 para los ODS en 2015, se ratificaron estos principios por parte de 193 miembros de la ONU. En el documento resultante destaca el papel de las TIC, cuya expansión amplía las posibilidades para acelerar el desarrollo humano una vez superada la brecha digital y desarrollando sociedades del conocimiento, una perspectiva compartida en lo que respecta a la innovación tecnológica y científica (ONU, 2015:6)

A partir de este proyecto fueron generados 17 objetivos hacia 2030 para asegurar un desarrollo sustentable e igualitario entre los diferentes países del mundo: poner fin a la pobreza; seguridad alimentaria; salud; educación; igualdad de género y empoderamiento de la mujer; agua y saneamiento; energía; crecimiento económico; infraestructura; reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos; ciudades; producción y consumo sostenibles;

cambio climático; océanos; bosques, desertificación y diversidad biológica; paz y justicia, y alianzas (ONU, 2015).

Ya desde el primer objetivo, erradicación de la pobreza, es mencionada la innovación tecnológica y es reconocida como un recurso indispensable cuya provisión debe de estar garantizada. Es destacable la mención del objetivo nueve el cual refiere a la construcción de infraestructuras resilientes, la promoción de la industrialización sostenible y el fomento a la innovación (ONU, 2022a). En este punto se señala que la industrialización inclusiva y sostenible, la innovación y la infraestructura, tienen el potencial de impulsar las fuerzas económicas para generar empleos y con ello elevar el nivel de ingresos. Resalta el valor de la innovación y la infraestructura para la promoción de nuevas tecnologías, el impulso al comercio internacional y un uso eficiente de los recursos (ONU, 2022a).

En esta misma línea, se considera la necesidad de avanzar hacia el progreso tecnológico, sobre todo en los países de periferia que requieren acelerar el desarrollo de los sectores manufactureros para aumentar la inversión en investigación e innovación científicas. En este mismo sentido, es notable la mención que se hace sobre el decrecimiento del sector manufacturero, incluso antes del brote de COVID-19, aunque este último ha afectado aún más a las industrias provocando modificaciones en las cadenas de valor y en el suministro de productos. Por último, el informe sostiene que tanto la innovación como el progreso tecnológico son fundamentales para encontrar soluciones perennes para problemas económicos y medioambientales (ONU, 2022a).

Desde esta perspectiva de desarrollo “desde arriba”, el énfasis de la industrialización, la innovación y la infraestructura en países no desarrollados sigue recayendo en el sector manufacturero aun cuando hemos visto que la revolución tecnológica actual nos lleva a un desarrollo a partir de la gestión del conocimiento. Lo anterior alude a un cuestionable interés por reducir las desigualdades que implica, más pareciera que lo que se busca es mantener una división internacional del trabajo más o menos estable.

En lo que toca a la I4.0, cuyo punto central es la capacidad de conectividad de las empresas, la falta de estrategias inclusivas está generando una importante pérdida en la fuerza de trabajo por lo que es necesario incluir la perspectiva de vulnerabilidad social para la elaboración de estrategias que fomenten la inclusión de regiones y grupos en las actividades técnicas y científicas de la I4.0. En este proceso no se puede dejar de lado la participación



del Estado, dado que la propia concepción de la I4.0 es resultado de la planificación e intervención estatal.

Como se ha dicho, además de la digitalización, uno de los puntos más importantes de la I4.0 es la conectividad. En este sentido, la intervención estatal resulta de gran relevancia ya que es el Estado el que establece las pautas para el uso del espectro radioeléctrico, pues este es considerado del dominio estatal (LFTR, 2014). Más aún, en términos de desarrollo, tanto la inclusión del acceso a internet como la consecución del objetivo nueve en los ODS, construir infraestructuras resilientes, plantea la necesidad de establecer una infraestructura que va más allá de las capacidades de las propias empresas.

La evolución del concepto de desarrollo no sólo ha ido incorporando distintos elementos para su análisis, sino que también algunos de estos elementos han cobrado mayor relevancia que otros como es el caso de la conectividad, misma que no puede dejar de incluirse en las mediciones de desarrollo pues, además de su importancia en la industrialización y la productividad, desde 2016 el acceso a internet es considerado como derecho básico de las personas de acuerdo al Consejo de Derechos Humanos de la ONU (ONU, 2016).

Si bien es destacable la consideración del avance tecnológico en los distintos paradigmas del desarrollo, el énfasis principal recae en su papel en el proceso productivo, empero, dada la inclusión de variables que van más allá de lo económico en las perspectivas más recientes de desarrollo, resulta pertinente la evaluación del impacto de las tecnologías disruptivas en variables relacionadas con la calidad de vida, mismas que se incluyen en algunos índices de desarrollo humano y en los ODS. La mayoría de las perspectivas coinciden en que para lograr un incremento en la gestión de tecnologías es indispensable la participación del Estado en buena parte como órgano de financiamiento de la CyT y como agente proveedor de infraestructura para el aprovechamiento de los recursos tecnológicos. Es posible afirmar que, dado el alcance de la tecnología tanto en lo que toca a las actividades productivas como en la vida cotidiana, es imprescindible incluir más variables relacionadas con capacidades digitales y tecnológicas a fin de evaluar el nivel de desarrollo, bienestar y calidad de vida en los diferentes países y regiones.

## 1.2 LA INNOVACIÓN Y LAS REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS

Es sabido que el desarrollo científico y tecnológico responde a determinados intereses. De igual modo, es posible decir que también responde a determinadas expectativas dentro del pensamiento colectivo de aquellos involucrados en el proceso de innovación: paradigmas técnicos (Dosi, 1982). Estos orientan la búsqueda de lo que ha de ser considerado como una mejoría en los procesos productivos. En esta misma línea, Pérez (2010) argumenta que, en realidad, se trata de paradigmas tecnoeconómicos considerando que el involucramiento del factor monetario en este proceso de validación es el resultado del aprendizaje colectivo que se articula en un modelo de pensamiento sobre prácticas económicas, tecnológicas y organizativas óptimas durante una revolución tecnológica específica, misma que se incorpora al sistema económico y social (C. Pérez, 2010). Sin embargo, las innovaciones también dependen de ciertas condiciones políticas, pues esto ocasiona que algunas no tengan el éxito esperado a pesar de ser más eficientes.

El paradigma con respecto a las tecnologías disruptivas de la revolución tecnológica del S.XXI es que la automatización, la generación y procesamiento de grandes cúmulos de información (*big data*), la comunicación directa entre máquinas y procesadores, y el estrecho vínculo entre lo digital, lo físico y lo biológico es lo deseable por ser más productivos y facilitar la actividad humana en general. En el ámbito laboral, supone que entre más automatizada esté una industria, mayor será el beneficio económico y mayor el bienestar general; hay una búsqueda constante de un progreso tecnológico en el que no se consideran factores como las condiciones laborales, pues el paradigma considera que la oferta de empleo simplemente cambiará hacia otros nuevos (Schwab, 2017).

Sin embargo, cabe advertir que el paradigma supone que a mayor ganancia mayor beneficio para la población, aun cuando la misma no vive de la utilidad obtenida, sino de su salario. Más aún, se ha dicho que en la actual revolución tecnológica se han generados menos empleos en industrias nuevas que las revoluciones anteriores: tan sólo en Estados Unidos, apenas el 0.5% de la fuerza de trabajo esta empleada en industrias que no existían a inicios del siglo XXI (Schwab, 2017).

En este sentido, aun cuando la invención de nuevas herramientas para facilitar la actividad humana es constante, es preciso señalar que no todas tienen las mismas

repercusiones económicas dentro del sistema capitalista. Pero no toda herramienta tecnológica logra convertirse en un elemento comercializable: la diferencia entre invención e innovación radica en que la primera se restringe al ámbito de la CyT, mientras que la segunda implica una comercialización y, por ende, un impacto en los procesos productivos (C. Pérez, 2010).

Las tecnologías disruptivas no son innovaciones aisladas; están interconectadas y suelen aparecer junto a otras que las acompañan; en buena medida como derivación del paradigma tecnoeconómico, la innovación tiende a desarrollarse como un proceso colectivo que engloba a los actores involucrados en las distintas etapas del proceso productivo (C. Pérez, 2010; Schumpeter, 1939) y que suelen beneficiarse económica o políticamente de él. Es importante mencionar que, en la actualidad, las innovaciones no vienen desde un área específica del conocimiento como ocurría antaño, sino que cada vez más tienden a producirse desde diferentes ámbitos del saber (Kovacs, 2018)

Por otro lado, para que una tecnología pueda considerarse como disruptiva, es necesario que, además de transitar de invención a innovación, dicha tecnología obligue al rompimiento de la normatividad establecida hasta entonces, volviéndola obsoleta y obligando a una reformulación de las regulaciones en torno al avance tecnológico (Schumpeter, 1942). De aquí la importancia del papel del Estado en el desarrollo de las revoluciones tecnológicas, pues es este el encargado de establecer las reglas formales a través de las cuales funcionarán las nuevas estructuras sociales derivadas de la aparición de las innovaciones.

Una vez que aparece una innovación particular, está se conecta con otras tantas formando sistemas o clústeres tecnológicos, es decir, interacciones técnicas, económicas y sociales entre productores de los insumos tecnológicos y quienes los utilizan. A su vez, estos clústeres se interconectan entre sí, lo que da pie a la aparición de las revoluciones tecnológicas: un sistema tecnológico compuesto de otros sistemas tecnológicos (C. Pérez, 2010). Una revolución tecnológica se caracteriza por: 1) la profunda interconexión e interdependencia de los clústeres involucrados participantes en términos de tecnologías y mercado, y 2) Su capacidad de transformación económica y social (C. Pérez, 2010), pero también política. Para que ocurra una revolución tecnológica, es necesario la aparición de un elemento fundamental que le dé lugar, esto es, la aparición de un insumo clave caracterizado

por ser barato (y cada vez serlo más), ser inagotable en un futuro cercano, tener aplicaciones generalizadas, tener la capacidad de aumentar el poder de creación de riqueza en capital y trabajo, y disminuir su costo con el tiempo y uso (C. Pérez, 2010).

Tanto las interrelaciones, como la infraestructura y las formas organizativas de las revoluciones tecnológicas se caracterizan por incrementar de manera significativa la eficiencia de las actividades productivas (C. Pérez, 2010), aunque no necesariamente la productividad, es decir, el rendimiento monetario. Existen elementos que apuntan a que el incremento en la productividad no es necesariamente algo que venga aparejado con el desarrollo tecnológico, pues estos generan únicamente rendimientos marginales (Qureshi, 2017; Schwab, 2017)

Asimismo, las interrelaciones que envuelven a las tecnologías disruptivas, crean nuevas áreas para la innovación en el resto de los sectores económicos, en buena parte, como consecuencia de la gran variedad de aplicaciones de la innovación particular que le dio origen. Por lo anterior; vemos que las revoluciones tecnológicas necesariamente representan modificaciones en los patrones de producción y consumo: las nuevas tecnologías liberan a los primeros de algunas necesidades para la producción, al tiempo que a los segundos les genera algunas nuevas (C. Pérez, 2010).

Actualmente nos encontramos en el desarrollo de lo que se conoce como cuarta revolución tecnológica, cuyo insumo clave son las nanotecnologías, pues la especificidad de éstas las hace de superpropósito general debido a que la base de ellas es desarrollar las nuevas propiedades físico-químicas derivadas de las fuerzas cuánticas que los materiales manifiestan en tamaño nano (RS&RAE, 2004). Dado que todo sector productivo y de servicios utiliza materiales, las nanotecnologías han invadido en poco tiempo todo tipo de industria, servicio y actividad cotidiana (Tsuzuki, 2009).

Si bien la revolución tecnológica actual se basa en la revolución digital, la diferencia con esta es la existencia de un internet más móvil y ubicuo derivado de la implementación de sensores más pequeños, más potentes y cada vez más baratos (E. Pérez, 2021). La revolución tecnológica que surge de la I4.0 se extiende con la aparición de los nanosensores. Pese a que el cambio de lo micro a lo nano pareciera ser sólo en tamaño, es sabido que el comportamiento de toda materia a nivel nano es distinto al que tiene el mismo material en tamaños más grandes, por lo que más allá de la mera extensión de los dispositivos, el

conseguir la creación de sensores nanométricos permitió una transmisión y acumulación de datos que no se había conseguido con otros componentes.

Dado que se ha llegado a un tamaño mínimo de procesadores, siguiendo las categorías propuestas por C. Pérez (2010), podría suponerse que sólo con el uso generalizado de las computadoras cuánticas podríamos hablar de una nueva revolución tecnológica, lo cual aún no es viable considerando que los dispositivos que hacen posible este tipo de procesamiento siguen siendo costosos, de complicada reproducción, y de difícil mantenimiento. Si bien existen nanotransmisores tamaño molecular (0.1 nanómetros) y se trabaja en nanotransmisores tamaño cero que funcionen a través de fotones, ambos funcionan bajo la lógica del procesamiento cuántico, lo cual, hasta ahora, tiene aplicaciones limitadas por ser imprácticas en el uso cotidiano (E. Pérez, 2021)

La disminución en los tamaños en los sensores y el aumento en la potencia de procesamiento, propició el desarrollo de los elementos que definen a la revolución tecnológica actual (Schwab, 2017), mismos que se interrelacionan con otros sistemas tecnológicos afectando todos los ámbitos sociales. Esta interconexión de tecnologías también estimula el desarrollo de los canales de distribución económica y su dinamismo: depende de su empuje mutuo el que aparezcan nuevos sectores e industrias asociados, además, su difusión genera patrones consistentes de consumo (C. Pérez, 2010).

Tabla 1-1 Características de la revolución tecnológica del S. XXI

Revolución tecnológica S.XXI - Era del IoT y la IA		
Países núcleo	EUA/Alemania/Asia	
¿Qué la detona?	Erick Drexler: <i>Motores de la Creación: la próxima era de la Nanotecnología</i>	Primer aparato conectado a Internet
Años	1986	1990
Nuevas tecnologías involucradas	IoT   IA  Sistemas ciberfísicos	
Infraestructuras nuevas o redefinidas	Nanosensores   5G   Fibra óptica	
Principios de sentido común del paradigma tecnoeconómico	Comunicación M2M   <i>big data</i>   Vínculo entre lo físico, lo digital y lo biológico   Automatización	

Fuente: elaboración propia basada en las categorías de (C. Pérez, 2010).

La revolución actual basada en la información y la conectividad ha provocado modificaciones sociales ocurridas a una velocidad mucho mayor que en las anteriores. Ya

desde la revolución de las TIC, la utilización de información y de tecnología digital en forma masiva en todas las áreas del entorno social han acelerado los procesos de globalización provocando que todos los rasgos sociales se vean comprometidos y afectados (Cebrián, 1998), y los procesos de segmentación social mucho más acelerados sin dar margen para compensar a los sectores afectados por las transformaciones tecnológicas (Kovacs, 2018).

Igualmente, la exposición a la tecnología implica riesgos al medio ambiente, a la salud y al bienestar, los cuales superan a los ocurridos en otras revoluciones tecnológicas (González Chávez, 2019). Entre algunos de los riesgos que supone la revolución tecnológica presente, encontramos afectaciones al ser humano como: la falta de límites entre el trabajo y la vida cotidiana, niveles elevados de estrés ante la posibilidad de verse sustituidos por la automatización, mayor control y monitoreo constante, problemas de la salud mental y disminución en los niveles de empatía (FEM, 2019b), además, la dependencia cibernética incrementa la vulnerabilidad de la información y riesgos de ciberataques (FEM, 2019b). Del mismo modo, existen la posibilidad de consecuencias indeseadas de los avances tecnológicos en el entorno como pueden ser los efectos de la radiación al medio ambiente ante el aumento de dispositivos móviles (Frank, 2021)..

Con el término revolución tecnológica nos hemos referido a los cambios surgidos en un sector de la producción industrial, los cuales se extienden hacia otras áreas económicas y tienen afectaciones en cada uno de los ámbitos sociales a la vez que producen un desarrollo de largo plazo (C. Pérez, 2004:32). Sin embargo, el término más utilizado para referirse a esta definición es el de revolución industrial. Schwab (2017), a quién se le atribuye la creación del concepto de 4RI , y otros autores (Lechman & Marszk, 2019) utilizan ambos términos prácticamente como sinónimos. Por su parte, Pérez (2004) menciona que *revolución industrial* fue el nombre de uso corriente que, en su momento, se le asignó a la que se originó con la máquina de vapor. Aun cuando es posible que el término revolución tecnológica sea un concepto mucho más amplio<sup>2</sup>, en lo posterior se utilizará preferentemente el término

---

<sup>2</sup> Quizá una mínima diferenciación podría hacerse entendiendo revolución tecnológica como el conjunto de cambios en distintos ámbitos de la sociedad derivados de un cambio tecnológico arraigado y generalizado, y que necesariamente implica modificaciones en las normativas y la reglamentación de diversas áreas, no únicamente en lo que respecta a relaciones industriales o laborales. Por su parte, al hablar de revolución industrial nos referimos a cambios cualitativos en las formas de producción y comercialización que responden a demandas de consumo también distintas, más en este último término no se considerarían a los cambios sociales o de la esfera política cómo las nuevas maneras de interacción interpersonal o las herramientas nacientes para

revolución industrial por ser el más divulgado y por referir al tema de interés en esta investigación: la I4.0 como centro de la 4RI.

### 1.2.1 BREVE RECORRIDO POR LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES

La afectación generalizada de los cambios tecnológicos ocurre por cambios fundamentales en los modelos de producción, pues las innovaciones, al menos en el sistema capitalista de producción, se han generado con fines comerciales: se ha señalado que la tecnología no es otra cosa que la aplicación de la ciencia en la producción industrial y el desarrollo de los mercados (Cebrián, 1998:69). Pese a que han sido varios los momentos en los que cambios tecnológicos han modificado distintas áreas del conocimiento, al día de hoy se ha hablado de cuatro revoluciones industriales<sup>3</sup>; las tres primeras consolidadas y una cuarta todavía en proceso de consolidación debido a varios factores, el principal, la falta de una red de comunicaciones ubicua y con una capacidad de respuesta inmediata, condiciones que promete la redes 5G como se verá más adelante.

La primera revolución industrial se desarrolla durante los XVIII y XIX. Con la aparición de la máquina de vapor, fue posible la mecanización de procesos. Implicó cambiar de una sociedad centrada en la agricultura y el trabajo artesanal hacia la mecanización de procesos derivados del uso de la energía hidráulica y de vapor (González Chávez, 2019; Yin et al., 2018). De acuerdo a Yin et al. (2018), la producción de la también llamada Industria 1.0, puede definirse como de *mercado simple* debido a que consideraba una única dimensión: incrementar el volumen de producción. Entre los cambios cualitativos más importantes considerados dentro de la revolución tecnológica que encierra a este tipo de industria fue la migraron masiva del campo a las ciudades; lugares en donde además de concentrarse la mayor cantidad de demanda laboral, también se concentró la provisión de servicios y

---

la implementación de los gobiernos electrónicos. No obstante, no es interés fundamental de esta tesis ahondar en la posible diferenciación de ambos términos.

<sup>3</sup> Esta es la distinción más usual, sin embargo, C. Pérez (2004, 2010) habla de cinco revoluciones industriales considerando como inicial la ocurrida por la apertura de la primera hiladería de algodón; mismo ocurre con Lechman & Marszk (2019). Sin embargo, en este trabajo se mantendrá la periodicidad usual debido a que 4RI es el término asociado a I4.0. Por otro lado, desde hace un par de años se ha comenzado a hablar sobre una quinta revolución industrial (considerando los periodos usuales) basada por completo en IA y computación cognitiva, sin embargo, esta aun es un supuesto ya que el desarrollo de la IA aún no está en fase de suplir por completo a la actividad humana.

mercancías (González Chávez, 2019). Cabe mencionar que se prevé que una transformación opuesta ocurra a consecuencia de la 4RI, pues la hiperconectividad virtual que esta última implica, volvería innecesaria una economía sustentada en las ciudades (Lim & Mack, 2017).

A finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, ocurre la segunda revolución industrial. En esta, llamada por Yin et al. (2018) de *mercado estable*, aparece la producción en masa haciendo uso de la electricidad como principal fuente de energía. Al proceso de mecanización sustentado en la técnica se incorporó el de la producción en serie y, como consecuencia, se acentúa la división del trabajo y el operador pierde todo control sobre lo que produce, pues ya no ve el producto terminado (González Chávez, 2019). Además de considerar el incremento en el volumen de mercancías, en este periodo surge una segunda variable a considerar en la producción: la variedad en los productos. Con la Industria 2.0 disminuye el costo de producción mediante la estandarización de componentes y la especialización de trabajadores y de equipo, razones por las que, en un inicio, se focalizó en un solo tipo de producto. No obstante, luego del exitoso modelo de Ford para la producción y la línea de montaje, la comercialización de un único producto estándar fue insuficiente para el mercado y su expansión, surgiendo así la necesidad de diversificar las mercancías (Yin et al., 2018).

Por su parte, la tercera revolución industrial nace en los años ochenta del siglo pasado y continúa haciendo mella hasta nuestros días. Se caracteriza por el uso de las TIC en los procesos industriales, cambiando lo análogo por lo digital y se sustenta en la información en sí misma (González Chávez, 2019; Yin et al., 2018). La ampliación de los mercados como consecuencia de la digitalización y un flujo mayor en los medios de circulación conlleva a un desplome en los ciclos de vida promedio de los productos, es decir, desde que la mercancía entra hasta que sale del mercado. Lo anterior conlleva una disminución obligada entre el tiempo en que los consumidores solicitan un producto y lo reciben, a la vez que la información se vuelve materia de cambio y se integra en la generación de utilidades (González Chávez, 2019; Yin et al., 2018). Esto ha provocado una mayor especulación de los mercados, pues se comercializan bienes y servicios no tangibles, aunque al final de la cadena de consumo toda esta información ha de ser intercambiada (o tener potencial de intercambio) por algún producto que si lo sea. Yin et al. (2018) lo llaman periodo de *mercado volátil*, al que se agrega una tercera variable de importancia en el proceso productivo: el tiempo de entrega. Encontramos que mientras gran porcentaje del comercio se ha trasladado



a internet, el concepto de empresa se modificó de una organización altamente jerarquizada a una altamente comunicada (González Chávez, 2019)

Por último, la Cuarta Revolución Industrial, concepto que se desarrollará más a profundidad a lo largo de esta tesis, surge en el transcurso de la segunda década del del siglo XXI. Como se ha mencionado, se caracteriza por una alta conectividad entre máquinas, personas y el entorno. Esta revolución flexibiliza los procesos tanto de consumo como de producción, y siguiendo la propuesta de Yin et al. (2018), a este periodo podríamos llamarle de *mercado intangible*, ya que la buena parte de los procesos se llevan a cabo y de los nuevos modelos de negocios surgido de ella se desarrollan en un entorno virtual, donde consumidores y productores tienen como intermediario una plataforma digital.

Tabla 1-2 Evolución de las Revoluciones Industriales

	1RI	2RI	3RI	4RI
Periodo	s. XVIII - s. XIX	Finales del s. XIX - inicios del s. XX	Mediados del s. XX - s. XXI	s. XXI
Regiones líderes	Inglaterra	EUA, Alemania, Japón	EUA, Japón, Europa	EUA, Alemania, Asia
Innovación base	Máquina de vapor	Petróleo y electricidad	TIC	IoT/IA/M2M
Dimensión agregada	Volumen	Variedad	Tiempo de entrega	Personalización/flexibilidad
Industrias y servicios impulsados	Siderúrgica y minería	Transporte	Microeléctrica, biotecnología	Economía colaborativa, gestión de información
Cambio en el proceso productivo	Mecanización	Automatización	Digitalización	Conectividad

Fuente: elaboración propia con base en C. Pérez, 2010; González Chávez, 2019; Solex, 2021

Algunas de las características generales que podemos reconocer de las revoluciones industriales es que modifican de fondo las formas en las que se produce en prácticamente todos los sectores económicos y tiene una respuesta, también cualitativa, del lado de los consumidores. Del mismo modo, vemos que las dos primeras revoluciones industriales se vinculan directamente con la aparición de nuevas formas de energía, mientras que las dos últimas, se identifican con la forma de generar y gestionar la información.

Como señala González Chávez (2019), cada revolución industrial atiende las deficiencias de las formas de producción previas: la primera genera una mayor producción,

en la segunda se mejora el proceso automatizándolo, para posteriormente expandir el mercado a través de información digitalizada que es más fácil de transportar. La I4.0 subsanaría las limitaciones de la previa para el manejo de la información incrementando la capacidad de respuesta de la industria ante cambios en los patrones de consumo, al mismo tiempo que disminuye la intervención humana para el manejo de datos, pues el procesamiento de datos tiende a ser de máquina a máquina.

Es importante mencionar que la periodicidad que se marca entre revoluciones tecnológicas no implica un inicio y fin determinante, sino que señalan los periodos de intensificación de los procesos que las caracterizan. Las tecnologías que aparecen como novedosas en las revoluciones tecnológicas existían desde épocas previas (González Chávez, 2019), sin embargo, con el acompañamiento con otras tecnologías que se van desarrollando y la actualización de las mismas, es que alcanzan sus usos potenciales en periodos posteriores. Un ejemplo de lo anterior es que la comunicación M2M y las industrias completamente automatizadas son nociones que se le atribuyen a la I4.0, no obstante, la primera fábrica con estas características se inauguró en 1984 en Tsukuba, Japón, misma que era controlada solamente por una computadora central (Gubern, 1995). Algunos autores señalan que las tecnologías actuales son menos disruptivas que las presentadas en revoluciones tecnológicas anteriores (Qureshi, 2017), empero, estas han modificado de forma cuantitativa y cualitativamente la forma de producción por el aumento de la capacidad de procesamiento de la información, lo que ha provocado una mayor autonomía de la máquina.

### **1.3 INTERVENCIÓN DEL ESTADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**

El papel del Estado en el desarrollo de las revoluciones industriales y tecnológica es fundamental desde diferentes perspectivas y ámbitos que van desde la generación de una normativa que ajuste el consenso y disenso de los cambios sociales derivados de los avances industriales y tecnológicos, hasta el apoyo que brinda para procurar los procesos de innovación. El rol del Estado ha sido fundamental para la expansión y desarrollo de los sistemas económicos a través de políticas públicas que incentivan el crecimiento de los mercados e incluso ayudan a la disminución de los costos de producción de las empresas como sería el caso de la capacitación para el trabajo (González Chávez, 2019). La

participación estatal se puede englobar en tres formas principales: la regulación, el impulso a la generación de innovaciones y reducción del conflicto, y la difusión con vías a la legitimación del conocimiento generado.

### 1.3.1 REGULACIÓN

Una de las características de la disrupción tecnológica es que obliga a la modificación de la normatividad existente hasta antes de su aparición, así como a la reinención de gobiernos y sus instituciones (Schwab, 2017); lo cual es un rol fundamental del Estado. Ejemplos de estas modificaciones en la normatividad pueden ser el aumento de las formas de propiedad intelectual como resultado de la penetración de los mercados en áreas antes no mercantilizadas, como los seres vivos (Corral, 2021).

Pero dicha regulación no únicamente tendría que ver con el uso de la tecnología en sí, sino también con externalidades asociadas a ella. En la 4RI, el procesamiento de grandes cúmulos de información hace latente una mayor exposición y uso indiscriminado de datos de usuarios, empresas y el propio gobierno. La conectividad global representa una mayor propensión a ciberataques y filtraciones de información sensible, por lo que la legislación tendría que estar orientada a autorizar y reglamentar a quiénes utilizan dicha información y cómo es que lo hacen (Kovacs, 2018).

La justificación de la intervención estatal en el desarrollo de la CyT tiene distintas perspectivas. Por un lado, la teoría neoclásica supone que la participación del Estado en los procesos económicos se debe a fallas de mercado. En el caso de la CyT, la acción estatal se justifica cuando el gasto en las mismas no corresponde al óptimo paretiano: si los proyectos de innovación tecnológica tuvieran tasas más elevadas de retorno social (provocadas por fallas de mercado) que no se vieran reflejadas en las tasas de retornos privadas ocasionarían que la inversión privada en innovación fuera menor a la socialmente deseable, es decir, no habrían incentivos para la inversión (Yoguel et al., 2016).

Por su parte, el enfoque de sistemas de innovación (SI) sugiere una interdependencia entre los distintos actores que lo constituyen (empresas, centros de investigación, gobiernos, etc.), mismos que mantienen relaciones no lineales y permanecen en constante retroalimentación. La innovación, entonces, es un resultado sistémico proveniente de esta

interacción (Chaminade et al., 2009; Yoguel et al., 2016) y es moderada por estructuras estatales a través del SI.

Por otro lado, Dutz et al. (2014) justifican la intervención por las propias fallas de gobierno, esto es, desviaciones del óptimo paretiano provenientes de una intervención estatal inadecuada, por lo que sugieren que los organismos encargados de implementar las políticas sobre CyT debiesen ser organismos especializados y descentralizados o autónomos, es decir, con una estructura adyacente a la estatal (Breznitz & Ornston, 2014).

Para que estas políticas tengan una planeación y estructuración adecuada, que logre la estabilidad social y el incremento de las actividades productivas, es necesario un Estado lo suficientemente fuerte para que regule de manera eficiente el mercado: cuanto más fuerte sea uno, más lo será el otro (Bresser, 2009; García Linera, 2017). Fortalecer al Estado es indispensable para que disminuya la incertidumbre para productores, trabajadores y consumidores.

Además de la regulación del mercado, es necesaria una reglamentación laboral que mantenga bajo control los conflictos sociales. Se ha dicho que una mayor flexibilidad laboral, es decir, la disminución de regulaciones en el mercado de trabajo, trae consigo una disminución de los costos de innovación y un mejor ajuste en los salarios (Kovacs, 2018). Sin embargo, la experiencia indica lo contrario: en Estados Unidos, donde existe una de las reglamentaciones laborales más flexibles, el incremento salarial es bastante lento, en oposición a la Unión Europea, cuya reglamentación estricta ha generado un aumento considerable (Kovacs, 2018). Del mismo modo, se ha visto que las innovaciones han tenido la tendencia a concentrarse en las empresas más grandes y tecnológizadas y son éstas las que mantienen una tasa de salarios más alta (Qureshi, 2017).

Buena parte de la regulación y mediación en el mercado, se traduce en la capacidad del Estado para propiciar las condiciones necesarias en la generación de innovaciones tecnológicas y para proveer la infraestructura adecuada que permita usar y aprovechar la tecnología. Para lograr este cometido, el Estado dispone de diversas herramientas de política, como la legislación en materia de competencia, la protección a los derechos de autor y los mecanismos legales en torno a la propiedad industrial y de patentes. La adecuación de las mismas se ejecuta bajo la pretensión de desarrollo.

### 1.3.2 IMPULSO A LA GENERACIÓN DE INNOVACIONES Y REDUCCIÓN DEL CONFLICTO

Crespi et al. (2011) proponen una justificación de la intervención estatal en los procesos de innovación que combina los postulados del enfoque sobre las fallas de mercado y los aportes del SI. Los autores retoman de estas última tres puntos fundamentales. Un primer punto es la idea de que la innovación es el resultado sistémico que no depende únicamente de las empresas: las inversiones complementarias para la innovación que estas deben realizar (ej.: adquisición de insumos, capacitación, compra de otras tecnologías) pueden estar inmersas en otras fallas de mercados que afectan los esfuerzos para la innovación, por lo que una intervención del Estado es justificable a fin de disminuir los costos provocadas por estas otras fallas de mercado. Enseguida, además de los recursos financieros, la innovación también depende de otros factores como mano de obra calificada, el acceso a otras tecnologías y el conocimiento: el Estado debe intervenir a fin de disminuir el rezago existente entre la oferta y la demanda tecnológica en los factores que complementan al económico. Por último, los autores reconocen la importancia de la existencia de políticas públicas orientadas a la difusión de la CyT desde los actores que la generan (Crespi et al., 2011; Yoguel et al., 2016).

El enfoque evolucionista critica la intervención estatal centrada tanto en las fallas de mercado, como en las fallas de gobierno (Lee, 2013; Yoguel et al., 2016). De hecho, esta postura considera que las fallas de mercado son una condición necesaria para desarrollar innovaciones, pues es una forma de subsanarlas. Asimismo, este enfoque considera que la subinversión en investigación y desarrollo (I+D) es consecuencia directa de las bajas capacidades de las empresas y de las deficiencias institucionales, las cuales dependen de los distintos caminos recorridos por los múltiples actores pertenecientes al SI (Yoguel et al., 2016).

Las posturas anteriores evidencian la función del Estado como agente para el mantenimiento de las condiciones que establezcan el sistema económico. Sin embargo, más allá de su papel para mantener las bases fundamentales para que el sistema económico funcione el Estado también ha fungido como principal inversor en grandes despliegues de tecnología, pues asume costos y riesgos de inversión que resultarían demasiado altos para ser tomados por el sector privado (Mazzucato, 2013). Sin la participación activa del Estado

como inversor no se hubieran podido desarrollar grandes agencias innovativas cómo la NASA o Silicon Valley (Mazzucato, 2013).

Aunado a lo anterior, aun cuando buena parte de los aportes evidencian la función del Estado como agente para el mantenimiento de las condiciones que establezcan el sistema económico. No obstante, es importante reconocer que el Estado es una estructura en sí misma que vela por su preservación e intereses propios, además de producir y reproducir los elementos que lo construyen (Luhmann, 1981; Poulantzas, 1973) por lo que ha de proveer su propio avance y sostenimiento tecnológico para la satisfacción de sus necesidades; un ejemplo de esto sería la inversión en desarrollo militar. Para asegurar el equilibrio del sistema, el Estado garantiza la competencia entre diferentes bloques de interés y se sujeta a presiones de diversos actores, ya que reconciliar los conflictos que se generen entre ellos es parte de sus funciones (Miliband, 1971) y le otorga mayores probabilidades de subsistir y mantenerse.

Si bien ante la aparición de una innovación, la intervención gubernamental fomenta su desarrollo a fin de potencializar el intercambio comercial y la productividad empresarial, la regulación también ha de estar encaminada a disminuir los efectos de estos cambios disruptivos y, por la propia subsistencia del Estado, no sólo la del sistema económico, este se ve obligado a diseñar mecanismos de compensación para aquellos actores que no resulten beneficiados por el desarrollo tecnológico (Kovacs, 2018).

La disminución del conflicto es necesaria tanto para la preservación del Estado en sí mismo, como para el sostenimiento del sistema económico. Una herramienta a través de la cual se refleja la tendencia a la atenuación de conflictos son los programas y políticas públicas gubernamentales que propician la incorporación de nuevos miembros al saber científico. Esto se enfoca principalmente a la mejora de la productividad; sin embargo, el hecho de propiciar elementos vinculados con la capacitación y formación de cuadros, libera un poco el poder de los productores a través del saber técnico.

Por otro lado, por la propia expansión de la tecnología y las innovaciones, ocurre que el conocimiento tiene la tendencia a democratizarse, pero de manera parcial. Aunque el Estado ha creado políticas públicas para propiciar el acceso a la educación y a la capacitación, además de estrategias para la generación de conocimientos científicos, se ha visto que estos regularmente van encaminados hacia la mejora en los procesos productivos (o militares) y

rara vez tienen el objetivo de mejorar las condiciones de vida, a pesar de que las políticas públicas impulsadas a fin de generar conocimiento y especialización son gestadas e implementadas bajo el supuesto de estar a favor de una reducción de las desigualdades sociales en general.

Lo anterior va encaminado a una atenuación del conflicto y, por ende, a la paz social, condiciones básicas para que el mercado se desarrolle de manera expansiva e intensiva. Aunado a lo anterior, es importante considerar que el mercado se extiende dentro de los Estados, y estos, a su vez, han de competir en el mercado mundial con capitales de otros Estados (Osorio, 2017). Esta situación provoca la necesidad de inversión y vinculación del Estado para educar y mantener su fuerza de trabajo, a fin de conservar su competitividad en el mercado global. Es sabido que los países con más alto nivel de desarrollo económico son los que invierten más en tecnología. Un ejemplo es la expansión de la investigación en nanotecnología con el lanzamiento de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de Estados Unidos en 2001, misma que provocó que muchos otros países invirtieran en I+D de nanotecnologías para no quedar rezagados (Foladori, 2009)

Una vez que surge la división internacional del trabajo, las diferencias sociales al interior de los Estados se reproducen a nivel internacional (Osorio, 2017). Esto conlleva diferencias en las necesidades de especialización de los primeros a fin de generarse ventajas competitivas en el mercado global; los Estados tendrían incentivos para promover la innovación. La propia especialización trae consigo la generación de una agenda particular en la innovación tecnológica que propicia que mientras unos Estados generan su propia tecnología, otros dependen de la transferencia de la misma y fungen, en mayor medida, como países consumidores de esta.

Es sabido que, desde los años de mayor expansión del sistema económico imperante, se llegó al consenso de que un mercado sin restricciones no es conveniente, y es el Estado quien debe interferir a fin de generar una adecuada planeación económica, política y social, además de fomentar el empleo (Hobsbawm, 2014). En estas consideraciones es imprescindible el papel de la ciencia y la innovación tecnológica, sobre todo en lo que respecta al último punto, que se ve ineludiblemente vinculado a los procesos de especialización y capacitación.

En este sentido, la política social cubre diversas temáticas como el acceso universal a la educación y a la capacitación de la fuerza de trabajo, la cual sigue siendo el soporte que sostiene a las industrias. Un ejemplo de lo anterior son las escuelas tecnológicas como los Centros de Capacitación para el Trabajo Industrial (Cecati) surgen para producir mano de obra especializada, al dotar de habilidades técnicas a un potencial personal; con esto se abona a las necesidades educativas de las clases dominadas, al mismo tiempo que se incrementa la oferta de trabajadores capacitados para satisfacer las exigencias de la industria.

La innovación tecnológica fomenta la modificación e incremento de las cualificaciones laborales (González Chávez, 2019); el Estado se ve obligado a establecer modelos educativos que generen habilidades en la fuerza de trabajo para que sea capaz de manejar el equipo utilizado en una industria altamente tecnologizada (González Chávez, 2019). Cabe destacar que no es suficiente una generación de profesiones de educación superior ya que cómo la actualización permanente es necesaria tanto por las actualizaciones constantes de la tecnología como por el escenario altamente competitivo en el mercado de trabajo.

Tanto (Bresser, 2009) como White & Wade (1996), realizan importantes puntualizaciones en lo que respecta al papel estratégico del Estado para controlar y aprovechar las fuerzas del mercado en el interés económico nacional. Cabe señalar que este beneficio no es viable sin el adecuado conocimiento y especialización para manejar los bienes de capital y los medios de producción; el desconocimiento de la tecnología y la falta de competitividad siempre contravienen los intereses nacionales.

White & Wade (1996) también apuntan a la idea del desarrollo basado en el concepto del Estado como movilizador del progreso socioeconómico, lo que implica el impulso hacia la innovación tecnológica, pero también la importancia de equilibrar la regulación gubernamental y el libre mercado, sin dejar de lado la participación de la sociedad civil. Esto último registra dos sentidos: por un lado, que las políticas públicas forzosamente tienen una salida social (en CyT se ha mencionado la creación de instancias que promueven la especialización y capacitación) y, por otro, que la participación de la sociedad civil organizada genera por sí misma una vinculación con los procesos de desarrollo económico.

Un ejemplo de lo anterior, en lo que respecta a CyT, es el movimiento STEM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés) en México, cuyo



objetivo es impulsar la educación en estas materias, con un enfoque de género (Movimiento STEM, 2020). Casos similares están presentes a nivel internacional, como el Proyecto OPAL (*Open Algorithms*) y el *toolkit* de Oxfam para organizaciones humanitarias, cuyo objetivo es la alfabetización digital para el uso de herramientas digitales y datos (FEM, 2019a).

En este punto es importante señalar que algunos autores sugieren que ningún análisis de política puede llevarse a cabo desde una perspectiva completamente centrada en los estados, pues las compañías transnacionales, principalmente las compañías tecnológicas, son actores con una gran influencia en el actuar nacional y en las relaciones internacionales al ser las principales generadoras de información y mantener el control de la misma a través de servidores, códigos, algoritmos, etc. (Bremmer, 2021). Se ha argumentado que, a mayor sofisticación de la tecnología e incremento del espacio digital, disminuyen las capacidades de los estados como reguladores como orientadores del avance tecnológico (Bremmer, 2021). Sin embargo, como se verá en apartados posteriores, la evidencia indica que aquellos países cuya política coordina y orienta la innovación, facilitan la generación de CyT al establecer puntos de encuentro entre el sector empresarial, la academia e instancias públicas encaminadas a este fin.

Aun cuando se reconoce la importancia de las grandes empresas tecnológicas y transnacionales, en el presente trabajo el papel de estas se aborda de manera tangencial. Se profundiza en los efectos de la acción estatal en su carácter de regulador y coordinador del desarrollo innovativo de los países en lo que toca a la I4.0 dejando para investigaciones posteriores un análisis más profundo del papel del sector empresarial.

### 1.3.3 DIFUSIÓN, IDEOLOGÍA Y LEGITIMACIÓN

El Estado también propicia la mediación de los saberes científicos entre los distintos intereses, es menester reconocer cuáles son las formas estatales para regular estas relaciones; aunque en determinadas circunstancias se producen las herramientas para generar cierto grado de socialización del conocimiento, el Estado también interfiere para limitarlas y distribuir las bajo algunas acepciones.

El estado y los gobiernos tienen un papel preponderante en el proceso de adopción de las tecnologías para facilitar el acceso y la vinculación de usuarios con los nuevos

dispositivos e infraestructuras tecnológicas (Lopátegui, 2022). En este sentido, uno de los principios fundamentales para el sostenimiento y perpetuidad del desarrollo tecnológico es la perspectiva optimista hacia el mismo. En este punto interviene una de las principales funciones del Estado para mantener cierta estabilidad del sistema de producción capitalista: la participación de la ideología como forma de asimilación del pensamiento imperante. La perspectiva de la ciencia como un impulsor inherente al desarrollo es una idea impuesta a fin de legitimar la innovación científica como motor del progreso.

Con la creación de políticas y programas educativos (por ejemplo, el impulso a las carreras técnicas en detrimento de las sociales), a la par de la designación de infraestructura para beneficiar el avance científico (como la donación de terrenos a escuelas técnicas y parques industriales) ocurre lo que Gramsci define como dictadura, pues la ejecución de las funciones de dirección, educación y dominación (la clase política toma como recurso a la sociedad civil) están alineadas por una clase social, en este caso, la empresarial (Gramsci en Portelli, 1977).

En la misma línea, Poulantzas (1973) ya argumentaba que la función de la ideología en el aparato estatal es una forma de legitimación de la acción política; funciona para validarla y como elemento que cohesiona la estructura y la superestructura. La ciencia, en el avance científico, aparecería como un mecanismo de la ideología que busca ser asimilada por las clases dominantes y aceptada como técnica por las clases dominadas.

De lo anterior se puede concluir que el interés por el desarrollo científico y tecnológico está estrechamente vinculado con la movilización de la ideología para legitimarla y, aun cuando la ideología sea proyectada por las élites, es mediante el Estado que esta se difunde. La difusión de la ideología es imprescindible para sostener el paradigma tecnoeconómico imperante, más aún, la difusión y el mantenimiento del interés del público en el tema, repercute en que el mismo se coloque en una posición prioritaria dentro de la agenda pública. Jones (1970) sostiene que parte del ciclo de políticas públicas implica la legitimación de política o programa elegido para ser implementado, es decir, es necesario encontrar la forma en la que la ciudadanía valide la acción a llevarse a cabo; en este proceso de legitimación, se enmarca la difusión de las líneas de acción para resolver un problema que ha entrado en la agenda.

Downs (1993) afirma que el interés de la ciudadanía sobre un determinado asunto interviene en el sostenimiento y la legitimación del tema en la agenda política. El autor sugiere que dicho interés fluctúa en un ciclo que consta de cinco etapas: la etapa anterior al problema, el descubrimiento alarmante y el entusiasmo eufórico, la percepción del precio del progreso, el descenso del interés del público, y la etapa posterior al problema (Downs, 1993).

En la etapa anterior al problema hay una situación social no deseada que aún no es percibida como de interés general, aunque ciertos grupos hayan manifestado preocupación al respecto. El autor señala en esta fase que los indicadores del problema son más graves, provocando que el interés del público vaya incrementando de a poco (Downs, 1993).

El descubrimiento alarmante aparece cuando ocurren acontecimientos extraordinarios que vuelven evidente el problema. A esta etapa le sigue el entusiasmo eufórico de la opinión pública, misma que se expresa en la responsabilidad y capacidad social para resolver el asunto. Downs (1993) sostiene que la combinación de la inquietud provocada por el descubrimiento del problema, aunado a la confianza en la posibilidad de su solución, resulta en la presión que la opinión pública genera sobre los tomadores de decisiones para que establezcan estrategias de solución.

La tercera etapa, la percepción del precio del progreso, refiere a la visibilidad de cuál sería el costo de resolver el problema público, mismo que trae consigo importantes sacrificios para ciertos sectores, normalmente privilegiados: los beneficios de estos grupos quedan expuestos al escrutinio público (Downs, 1993). Esta es la etapa más importante del ciclo, porque es en la que se suele decidir si se hace o no una política pública sobre el tema. En el caso de las revoluciones tecnológicas, los costos generalmente los pagan los sectores no privilegiados, mismos que suelen tener un nivel de presión político menos contundente. Esto, aunado a la visión benéfica que suele tenerse de la tecnología, hace que el desarrollo tecnológico y el avance científico no pierdan presencia en el interés público, más se busca de manera constante que el rezago tecnológico se perciba como un problema.

Enseguida, encontramos el descenso paulatino del interés del público, el cual refiere al incremento del número de personas que considera que la solución del problema es muy difícil y costosa. Downs (1993) nos dice que en este punto se presentan tres reacciones: 1) ciertos grupos se desaniman; 2) algunos se sienten amenazadas al pensar sobre el problema, por lo que deciden ignorarlo, y 3) otras más se aburren del problema y lo dejan de lado. El

autor considera que la mayor parte de las veces, la ciudadanía experimenta una combinación de los tres sentimientos provocando que el deseo de atención y solución desaparezca poco a poco, además, es muy probable que, en este punto, ya existan otros problemas ocupando la etapa dos del ciclo de interés público (Downs, 1993).

Finalmente, la etapa posterior al problema es cuando el problema público deja de ser de interés general y cae en un limbo en el que la atención es menor y de recurrencias esporádicas: el tema ya no tiene una relación directa con la ciudadanía que ha pasado a ocuparse de otros asuntos. Es muy posible que durante las etapas de interés activo se hayan generado instrumentos de política pública para atender la situación, mismas que normalmente son estables y tienen un impacto positivo en la solución del problema (Downs, 1993).

De acuerdo al autor, para que un problema social recorra todo el ciclo de atención, es necesario que: 1) la mayoría de las personas no sufran el problema en el mismo nivel que una minoría social; si no afecta a gran parte de la población, esta no es capaz de poner su atención en el tema durante mucho; 2) las desventajas que el problema provoca provienen de estructuras sociales que benefician a un grupo privilegiado, y 3) el problema deja de ser llamativo para la mayor parte del público cayendo en un estado de normalización.

Siguiendo lo antes expuesto, es posible decir que siempre existe cierto nivel de atención sobre el rezago tecnológico como problema público ya que todos los sectores sociales se interesan por el uso y la accesibilidad de la tecnología por considerar que efficientiza todo tipo de procesos, más aún, el desarrollo tecnológico beneficia, sobre todo, a grupos privilegiados de la sociedad, por lo que el tema de la tecnología se sostiene de manera permanente en el interés público y no pierde su lugar en la agenda gubernamental.

## **1.4 DESARROLLO TECNOLÓGICO Y SEGMENTACIÓN**

Las revoluciones industriales están vinculadas con la evolución del Estado y la organización administrativa y política al interior y entre los mismos (Lopátegui, 2022). Es un hecho que las innovaciones tecnológicas transforman los patrones de trabajo y consumo (C. Pérez, 2010) y las implicaciones en el ámbito económico e industrial se reflejan en los rendimientos a escala: el nivel de automatización de la producción industrial actual permite generar la misma cantidad de riqueza que hace diez años, pero con aproximadamente diez veces menos

empleados, lo que tiene repercusiones directas e la disminución de costos de capital y provoca una disminución de la mano de obra requerida para su funcionamiento. Si bien han surgido nuevas formas de laborar, como es el caso de la economía colaborativa, la pérdida del porcentaje del producto interno bruto (PIB) que depende del trabajo sigue disminuyendo en la gran mayoría de los países (Schwab, 2017). El cambio tecnológico genera una serie de transformaciones cuyo impacto tiene repercusiones en diferentes aspectos de la vida en sociedad. Sin duda, uno de los aspectos más importantes en relación a las innovaciones es la segmentación social derivada de los cambios en las relaciones laborales.

Se sabe que la división del trabajo provoca la segmentación y la aparición de nuevos sectores sociales. En este sentido, el avance tecnológico conlleva una segmentación inherente a la especialización laboral, que va modificando la estructura social ligada a los cambios tecnológicos. Desde la época de mayor expansión económica, se observaban transformaciones sociales importantes surgidas del avance tecnológico y científico vinculado a la profesionalización como lo ocurrido en la Primera Revolución Industrial y que implicó la migración del campo a la ciudad a causa de la tecnificación del primero y por la gran demanda de mano de obra para las industrias (Hobsbawm, 2014). Otro ejemplo es lo acontecido en los años ochenta, durante la Tercera Revolución Industrial, cuando disminuyeron los empleos de la clase obrera a raíz de la extinción de algunas industrias que dieron paso a la aparición de otras (Hobsbawm, 2014).

Los casos anteriores ilustran como la nueva especialización del trabajo es propiciada por el desarrollo de la ciencia y la tecnología, e implica la intervención del Estado, al menos en lo que corresponde a una nueva armonización legal y de políticas públicas que faciliten la movilidad de los trabajadores y regulen las modificaciones en la estructura social. En este sentido, Beltrán Villalva (2001) intenta establecer un concepto de estructura social que refiere a las dimensiones básicas de la sociedad, cuyas relaciones determinan los lugares sociales que corresponden a cada miembro.

El mismo autor argumenta que, aunque aquello que se entiende como estructura es lo más permanente en el sistema social, no es inmutable, y, de hecho, está en constante modificación dependiendo del contexto histórico donde se desarrolle. La estructura social cambia y sus transformaciones son resultado de las contradicciones internas de la acción social y del conflicto. Esto queda expuesto con claridad en lo que refiere a los cambios y

avances tecnológicos, que van alterando la estructura social de una forma cada vez más acelerada: tan rápido como cambia la tecnología, aparecen nuevas formas de empleo y de profesionalización; es decir, se crean nuevas divisiones del trabajo.

En esta misma línea, Antunes, (2001) señala que de esta nueva diferenciación y especialización del trabajo surgen cambios en procesos múltiples: la desproletarización (la disminución de la clase obrera industrial tradicional) y la precarización (vinculada a la expansión del trabajo asalariado y de servicios), al mismo tiempo que se expande la incorporación de la mujer al mundo laboral. La desproletarización está íntimamente relacionada con el desarrollo de la ciencia y la tecnología: a mayor tecnificación, menor es el trabajo vivo requerido.

La precarización refiere, entre otras cosas, al trabajo parcial, temporal o subcontratado, diferentes formas de contratación en las que parece haber un retroceso en las políticas sociales y de protección laboral, lo que refleja cierta subordinación del Estado a los intereses de clase, pues se disminuyen los compromisos de los contratantes con los empleados (Antunes, 2001), esto es, se promueve una cada vez mayor flexibilidad laboral a fin de poder solventar la adaptación a la creciente innovación (Qureshi, 2017).

Al mismo tiempo, Antunes, (2001) sugiere que la alteración cualitativa en la forma de ser del trabajo está vinculada con el impulso a una mayor calificación del trabajo y a una mayor descalificación del mismo. Lo primero implica la sustitución del trabajo vivo por el trabajo muerto, lo que plantea una tendencia que imposibilita la lógica del capitalismo: las máquinas no consumen. Por otro lado, la descalificación en diversos sectores conlleva a la aparición de trabajadores multifuncionales (Antunes, 2001); la aparición de la multifuncionalidad trae consigo una mayor necesidad educativa, por lo que el Estado se ve en la necesidad de generar más oferta en educación y capacitación, reforzada por el nacimiento de un gran número de instituciones privadas que contribuyen a estos propósitos.

Lo anterior ha demostrado una evidente segmentación del trabajo generado por la tecnificación de los medios de producción. Lo que obliga al Estado a intervenir, dirigiendo el desarrollo tecnológico hacia ciertos fines y otorgando instrumentos de política que faciliten la capacitación de los sectores productivos para generar las habilidades técnicas requeridas en la industria, acompañado lo anterior de políticas sociales encaminadas a la mejora de los procesos tecnológicos.

## 1.5 ALGUNAS REFLEXIONES

A lo largo de la historia, se ha visto la evolución significativa en la forma en que concebimos el desarrollo, pasando de una visión estrechamente ligada al crecimiento económico hasta una perspectiva más amplia e inclusiva que abarca aspectos como la calidad de vida, la equidad social y la sostenibilidad ambiental.

La tecnología ha desempeñado un papel fundamental en este proceso de transformación, actuando como un catalizador para el progreso en múltiples ámbitos. Desde la revolución industrial basada en el vapor hasta la era digital actual, las innovaciones tecnológicas han impulsado el crecimiento económico de algunos sectores aumentando su productividad. Sin embargo, este avance tecnológico también ha impactado en las desigualdades sociales y estructurales por lo que no ha estado exento de desafíos y dilemas.

Uno de los principales retos que enfrentamos en la actualidad es la segmentación social derivada de la adopción desigual de la tecnología. A medida que la brecha digital se amplía, existe el riesgo de que ciertos grupos de la sociedad queden rezagados y excluidos de los beneficios que la tecnología puede ofrecer. Es urgente abordar esta segmentación para garantizar el acceso equitativo a las oportunidades que brinda la innovación tecnológica.

La sostenibilidad se ha convertido en un tema central en las discusiones sobre desarrollo y tecnología. En un mundo cada vez más interconectado y vulnerable a los impactos del cambio climático, es imperativo que las innovaciones tecnológicas se alineen con principios de sostenibilidad ambiental y social. La búsqueda de soluciones tecnológicas debe ir de la mano con la preservación de los recursos naturales y la promoción de un desarrollo equitativo y sostenible.

## CAPÍTULO 2 COMPONENTES DE LA INDUSTRIA 4.0

En el apartado anteriores hemos visto que el concepto de revolución industrial (o tecnológica) hace referencia a los cambios y modificaciones surgidos de un área de la producción industrial que se extiende hacia otras áreas económicas y cuya modificaciones y crecimiento tienen afectaciones a cada uno de los ámbitos sociales y que producen un crecimiento de largo plazo (Pérez, 2004:32). En este sentido, la 4RI refiere a los cambios cualitativos derivados de la interacción entre diversas tecnologías disruptivas principalmente el IoT, la IA y los CPS. Los usos y la interconexión de estas tecnologías han generado cambios estructurales no sólo en la forma de producir, sino en la forma en la que nos relacionamos e interactuamos con el mundo (Schumpeter, 1942).

Por su parte, el concepto de la 4RI se ha equiparado al de I4.0, aunque este último término se vincula más a la expresión técnica: a las tecnologías que intervienen en las nuevas formas de producción y cambios sociales generadas por las tecnologías disruptivas del s. XXI. Por lo anterior, existe abundante literatura sobre el tema que lo trata desde una perspectiva técnica y de negocios, optimista en cuanto a las ventajas socioeconómicas esperadas.

Sin embargo, el presente trabajo analiza las propuestas de política para el crecimiento de la I4.0 a nivel global y particularmente en México, considerando que las políticas orientadas al crecimiento en este último han tenido como propósito la reducción de las desigualdades regionales en el país, para impulsar su desarrollo en el contexto mundial a partir de las tendencias que se han identificado. El objetivo del presente capítulo es hacer un acercamiento al concepto de la I4.0 en un sentido amplio, es decir, considerando los componentes técnicos intrínsecos a ella, sin dejar de lado aquellos que corresponden a la interacción con la regulación y el Estado. Además, se destacan algunos índices que han buscado medir su desarrollo y hacer un acercamiento hacia los riesgos y desafíos que implica. Todo lo anterior a fin de establecer una matriz de propias dimensiones, subdimensiones e indicadores que sirvan para señalar el nivel no sólo de desarrollo de la I4.0, sino también de adaptación y resiliencia ante ella.



## 2.1 COMPONENTES DE LA I4.0

### 2.1.1 EL ELEMENTO TÉCNICO: TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS

Además de I4.0 y 4RI, existen otros conceptos que tienen mucha cercanía al de I4.0, sin embargo, la gran mayoría de ellos refieren únicamente al componente técnico del proceso industrial enfatizando la autonomía de la máquina y su interacción con otros dispositivos como consecuencia de su capacidad de conexión. Conceptos como *Smart Manufacturing*, *Smart Industry*, Internet Industrial o *Smart Factory*, son algunos de los que aparecen en la literatura sobre el tema: todos hacen referencia a un listado de tecnologías orientadas a la digitalización de los procesos productivos y la gestión de sistemas de información (Nosalska et al., 2019).

La noción de I4.0 se conceptualiza a partir de dos componentes. Por un lado, el componente tecnológico, mismo que refiere el uso de CPS; la concepción de una fábrica inteligente, es decir, una fábrica conectada cuyos aparatos sean capaces de tomar decisiones por medio de IA, y la capacidad de comunicación entre objetos (Nosalska et al., 2019). Por su parte, el componente de negocios refiere a la creación de nuevos modelos de negocios como la *economía colaborativa* o *sharing economy*<sup>4</sup>, y a la preeminencia de los productos inteligentes con una alta capacidad de personalización (Nosalska et al., 2019), así como a una mayor integración de la cadena de valor a consecuencia de la comunicación en tiempo real y el procesamiento de *big data*, es decir, la comunicación entre objetos que generan datos sobre sí mismos, se almacenan mediante el cómputo en la nube y son empleados para adaptarse de manera más flexible y predictiva ante los posibles cambios en el mercado (Eslava, 2021; Micheli Thirion, 2022).

La producción basada en CPS, la IoT y la IA son los elementos básicos que definen a la industria surgida en el marco de la revolución tecnológica que experimentamos en la actualidad y que, con frecuencia, ha sido nombrada I4.0. La finalidad última de la misma es conseguir la completa automatización de los procesos productivos, así como un alto nivel de predictibilidad de los patrones de consumo y una gran flexibilidad y adaptación de sus

---

<sup>4</sup> El término se refiere a las compañías, mayormente de servicios, basadas en transacciones en líneas y que se caracterizan por tener escasa o nula infraestructura material; sus trabajadores ponen a disposición de la empresa sus bienes: sus autos en Uber o sus casas en Airbnb.

procesos mediante la capacidad de anticipación generada por los grandes cúmulos de información que administra (Eslava, 2021). Sin embargo, para que la I4.0 pueda potencializar estos objetivos, son necesarios dos tipos de infraestructura que permitan el flujo constante de información y datos: nanosensores cada vez más pequeños, multifuncionales y con mayor capacidad de transmisión de información, y una red de interconexión que comparta esta última característica, promesa que pretende cumplir la quinta generación de conexiones inalámbricas (5G).

Como es resultado de la unión de diferentes tecnologías, algunos autores sugieren que el concepto I4.0 se trata de un concepto más político que técnico (Schütze et al., 2018) y hacen alusión a que el término surge a partir de la Estrategia de alta tecnología 2020 del gobierno alemán para impulsar la digitalización y la fábrica inteligente en diversos sectores, misma que fue presentada en la Feria de Hannover de 2011 (Acatech, 2013a; Casalet, 2018). El impacto ideológico y político de lanzar un nuevo término para sugerir el peso de la ciencia y la tecnología en el desarrollo no puede descartarse y será analizado más adelante. Si bien el término I4.0 viene de una estrategia planteada por el gobierno alemán para el fortalecimiento tecnológico de las pequeñas y medianas empresas (Knutov & Styrin, 2020).

*Big data*, IoT, cómputo en la nube, M2M, aprendizaje automático, impresión 3D y CPS, son algunas de las tecnologías cuya confluencia define a la I4.0 en buena parte de la literatura sobre el tema (Nosalska et al., 2019; Oztemel & Gursev, 2020). Dichas tecnologías implican la posibilidad de una integración de las personas con objetos, equipos, maquinaria, construcción e incluso el medio ambiente (Basir et al., 2019): las interconexiones de las tecnologías implicadas en la I4.0 no sólo funcionan a través de la fusión entre lo físico y lo digital, sino también integran lo biológico (Schwab, 2017), pero el concepto sigue implicando la parte material de las relaciones productivas, aunque inevitablemente deriva en cambios sociales y estructurales.

Tabla 2-1 Principales tecnologías aplicadas en la Industria 4.0

Tecnología	Características	Utilidad para la industria	Dispositivos Componentes	Empresas líderes	Año de origen
<i>IoT</i>	Comunicación multidireccional entre máquinas, objetos, personas y entorno por medio de sensores y conexión a Internet.	Recoger información del entorno mejorando la toma de decisiones a nivel productivo y comercial.	Sensores, redes, codificadores y decodificadores, y <i>software</i> .	Cisco IBM / Intel, G. E. / Google, Microsoft, Salesforce, Oracle / Qualcomm, Amazon.	2008-2009
<i>IA</i>	Desarrollo de algoritmos para potenciar el procesamiento de información por medio del aprendizaje automático.	Los dispositivos adquieren capacidades cognitivas parecidas a las redes neuronales humanas permitiéndoles “comprender” y “decidir”	<i>Software</i> y algoritmos matemáticos	Amazon, Google, Microsoft, Huawei, Apple.	1997
<i>Computo en la Nube</i>	Almacenamiento de grandes volúmenes de datos generados durante en el proceso de producción de forma remota	Reduce costos al evitar la adquisición de servidores, licencias y personal para mantenimiento.	Servidores.	Microsoft, Amazon, Google, Storage, IBM, Salesforce, SAP.	1999
<i>Big data</i>	Análisis de grandes volúmenes de datos.	Reduce ineficiencias del proceso productivo, anticipa fallas en equipos, brinda mejores respuestas a situaciones imprevistas, permite la toma de decisiones en tiempo real, define modelos de negocios basados en el comportamiento de los clientes y otros competidores.	Base de datos y <i>software</i> .	IBM, Microsoft, SAP, Amazon, Google, HP.	2004
<i>Sistemas de integración (Ciberfísicos)</i>	Integran tecnologías operacionales con tecnologías informacionales mediante plataformas digitales.	Posibilitan la conexión de la unidad productiva con otros actores de la cadena de valor.	Sistemas de control basados en red, <i>software</i> y sistemas operativos.	Siemens, Deloitte, IBM.	2014
<i>Impresión 3D</i>	Es la fabricación de piezas con base en la superposición de capas de materiales sobre la base de un diseño moldeado de manera virtual.	Posibilita la producción de piezas personalizadas en pequeños lotes.	Impresoras y <i>software</i> .	Voxeljet, Stratasys, 3dsystems, Solidscape, LC Printing, Machine Factory, Limited.	2006
<i>Realidad virtual y realidad aumentada</i>	Representación virtual del funcionamiento conjunto de máquinas, procesos y personas en tiempo real.	Ahorrar costos en procesos de aprendizaje al desplazarlo al entorno virtual. Complementa el entorno real con objetos digitales, mejorando los sistemas de simulación y modelado	<i>Headsets</i> y dispositivos específicos para capturar objetos tridimensionales.	Apple, Google, Microsoft, 3Dconnexion, Facebook, HTC, Samsung.	2000-2003

Fuente: adaptado de (Feldman & Girolimo, 2021)

El término I4.0 se asocia a una nueva revolución tecnológica caracterizada por la interrelación de estas tecnologías, cuyos principales elementos son: la conectividad global, los CPS y la IA; la combinación de estas características permite entender la novedad que conllevan. Las nanotecnologías constituyen uno de los elementos fundamentales en el desarrollo de la I4.0 debido a que es este componente el que, a nivel técnico, hace posible las principales tecnologías que la componen.

Sí bien las revoluciones industriales previas se conducían sobre innovaciones en el proceso y los sistemas de manufactura, la I4.0 se distingue porque se conduce en torno a un ambiente inteligente e interconectado: la 4RI está dada por la conectividad (European Regional Development Fund, 2020; Micheli Thirion, 2022).

Como vimos en el capítulo anterior, de las dos primeras revoluciones industriales hacia las dos últimas se transitó de un modelo basado en la disminución de costos de energía a otro basado en menos costos de información (Castells, 2000), lo cual es cada vez más asequible a consecuencia de la hiperconectividad.

La expresión virtual está dada por la conectividad entre las personas, los objetos y los elementos naturales; esta ocurre mediante el acceso a Internet inalámbrica y supone una velocidad de transmisión en tiempo real, una capacidad de operación prácticamente ilimitadas, y que las personas pueden comunicarse con aparatos inteligentes que reaccionan frente al entorno y deciden qué tipo de información comunicar. Estas son las características de conectividad de la I4.0.

Hay tres fases en la conectividad. La primera es la físico-química inmediata (y biológica cuando se trata de seres vivos), la segunda es la fase de redes, y la tercera la de aplicaciones inteligentes. La fase física identifica y reconoce los componentes, elementos, sustancias y materiales utilizando sensores, actuadores y dispositivos terminales. La fase de redes o conectividad que conecta los diversos dispositivos terminales de la primera fase en nodos; puede ser abierta o privada e implica una vinculación de diversos protocolos informáticos. La fase de aplicaciones o módulos inteligentes se vincula con softwares y procesadores, y utiliza diversos tipos de conectividad para generar procesamiento y retroalimentación a toda la estructura a fin de generar su automatización y eventual corrección del proceso (Basir et al., 2019; Yin et al., 2018)

Para que sea posible una conectividad con las características mencionadas en todas y cualquiera de las tres fases, la presencia de sistemas micro y nano electromecánicos (Mems/Nems) es indispensable. Mediante Mems/Nems se transforman señales físicas, químicas y biológicas en codificación digital. Sin estos dispositivos no funciona ninguna de las tecnologías de la I4.0 ni existe conectividad entre ellas. La conectividad depende de la industria opto-micro/nano-electrónica y esta del uso de dispositivos nano, mismos que, como se ha mencionado, responden a fuerzas cuánticas y manifiestan propiedades distintas a las que exhiben en un tamaño mayor. Más aun, el primer segmento de la cadena de valor del IoT corresponde a la fabricación de dispositivos con actuadores y sensores especializados en la captura de datos (Castillo, 2007).

La esencia de la I4.0 son las TIC y la gestión de *big data*, lo que permite el intercambio más eficiente de la comunicación en el Mecanismo de Optimización de Transmisión de Mensajes (MTOM), esto permite una mayor prevención y adaptabilidad de del proceso industrial ante los cambios en el mercado y las demandas del consumidor de una forma mucho más eficiente que en épocas previas. La actual revolución industrial considera una significativa dominación de la IA sobre el intelecto humano, aun cuando es este último el que entrena a la máquina aportando los algoritmos y datos de origen. Lo anterior aparece como una singularidad pues en ningún otro momento había existido la posibilidad de una completa sustitución de la mano de obra humana por la máquina (Budanov et al., 2018). Es la primera vez en la historia que no se pretende mejorar las relaciones entre humanos, sino las relaciones entre aparatos.

Por otro lado, se ha dicho que la propia especialización trae consigo la generación de una agenda particular en la innovación tecnológica que propicia que mientras unos Estados generan su propia tecnología, otros dependen de la transferencia de la misma y funjan, en mayor medida, como países consumidores de esta. Sin embargo, estas diferencias podrían diluirse o acentuarse con la hiperconectividad que supone la I4.0: lo primero porque el desarrollo de este tipo de industria depende de la vinculación entre dispositivos, personas y entorno, y lo segundo porque la misma conectividad podría implicar el abandono de las economías fundadas en las ciudades (Lim and Mack, 2017) y el desarrollo dependería de que el acceso a cualquier servicio indispensable se base en infraestructura adecuada de conectividad.

En este contexto aparecen como necesarias las redes 5G las cuales, como ya se mencionó, se caracterizan por: una conectividad ubicua en todo dispositivo, (todo el tiempo, de forma ilimitada), un tiempo de transmisión de información (latencia) de uno a dos milisegundos, y la transferencia de datos a una velocidad de diez gigabits por segundo. Esto se consigue con un alto número de nanoantenas y tecnología para adecuar sistemas de comunicación inalámbrica de banda milimétrica a nanoescala con múltiples entradas y salidas masivas (MIMO, por sus siglas en inglés) (Hao et al., 2020). Las nanotecnologías son la base técnica de la 5G. Si bien la I4.0 se ha iniciado en el marco de la transmisión tecnológica de las redes 4G (Micheli Thirion, 2022), su desarrollo se basa en la conectividad y en la comunicación entre dispositivos, su potencial aún no se alcanza debido a las limitaciones en las redes inalámbricas disponibles. En este punto es importante hacer un breve recuento sobre el cambio que han recorrido las tecnologías móviles.

Hasta ahora, han sido reconocidas cinco generaciones de este tipo de redes. Comenzando en los años 80, la primera generación de redes móviles se llevaba a cabo a través de dispositivos análogos que solo permitían la transmisión de voz por lo que únicamente funcionaba para hacer llamadas. Además, la velocidad de transmisión y la seguridad en las comunicaciones eran bajas y poco eficientes (Anzola, 2021; Candela Herrera, 2019).

Por su parte, la segunda generación de redes (2G) fue la primera generación de redes digitales y la primera red global de servicios celulares. Aunado a la transmisión de voz, también permitía la transmisión de mensajes de texto y la conexión a internet, y fue con la primera que se estableció el servicio de *roaming*, es decir, la posibilidad de que operadores de distintas partes del mundo se interconectarán fuera del área de cobertura local (Candela Herrera, 2019; Duarte, 2015). Aunque mejoraron el cifrado de las comunicaciones, tienen una velocidad de transmisión muy baja, por lo que se hicieron algunas actualizaciones posteriores surgiendo las redes 2.5 siendo estas últimas las que permitieron una mejor navegación en portales web (Duarte, 2015). Este tipo de red comienza a aparecer en la década de los 90, sin embargo, todavía hay zonas del mundo, incluido México, en donde son utilizadas

La siguiente generación de tecnologías móviles fue la llamada 3G. Nacida en el año 2000, permitió la transmisión de archivos multimedia y tenía una conexión a internet con

mayor calidad. La transmisión de datos alcanzaba menos 2 mbps y permitió la conexión a distintos servicios haciendo posible el uso de aplicaciones móviles (Candela Herrera, 2019). Fue hasta esta generación que se pudo acceder por completo a los portales de internet, así como su uso para la transmisión de multimedia de forma sincrónica: los dispositivos móviles pueden usarse casi de la misma forma que una computadora de escritorio (Anzola, 2021). Al igual que pasó su predecesora, en esta generación de redes también hubo algunas actualizaciones como las HSPA y el HSPA+ (Candela Herrera, 2019; Duarte, 2015)

Las redes 4G tienen mayores anchos de banda, lo que implica más velocidad de transmisión de información que va de 100 mbps en redes inalámbricas hasta 1 gbps en redes fijas (Duarte, 2015) haciendo posible la reproducción de videos en formato *streaming* a mejor resolución, así como las comunicaciones simultáneas con una alta calidad de reproducción en la imagen y el sonido permitiendo resoluciones de hasta 4k. Estas redes que se consolidaron en 2010, hicieron posible la priorización de los servicios en la nube (Duarte, 2015).

Las redes 5G, indispensables para el desarrollo de la I4.0, son la última generación desplegada de redes. Alcanzan hasta 1000 veces la capacidad de las 4G y podría soportar hasta mil millones de conexiones, además, de que la latencia es de uno a dos milisegundos y una velocidad de hasta 10 gbps (Duarte, 2015). La principal orientación de estas redes no conecta a las personas sino a objetos; se pretende que multiplicará el número de dispositivos conectados y eficientizará los servicios en la nube (Anzola, 2021).

Cabe destacar que el proceso de estandarización de estas redes aún no está completado, pues faltan adecuaciones legales y formales en la mayoría de los países para su implementación (Anzola, 2021). Si bien son varias las naciones que hablan de 5G, el despliegue de la misma todavía es incipiente en la mayor parte del mundo. Además, al tratarse de un proceso dinámico y en constante crecimiento, vemos que aun cuando estas redes no están por completo desarrolladas, ya se comienza a hablar de las redes 6G (Sacristán, 2022).

A fin de incrementar la capacidad de conexión del país, en octubre de 2021 el IFT oficializó la creación del Comité Técnico en Materia de Despliegue de la 5G en México. Este mismo año, Chile, República Dominicana y Brasil iniciaron sus procesos de licitación sobre el espectro radioeléctrico utilizado en este tipo de redes. Se preveía que fuera en este año cuando procesos similares se llevaran a cabo en México, no obstante, las complicaciones

económicas derivadas de la pandemia por Covid, aunado a lo que muchos consideran elevados costos del espectro radioeléctrico mexicano, fueron causa del aplazamiento de la subasta. Sin embargo, la 5G ya está presente en algunas ciudades mexicanas, pero los usuarios aun no pueden conectarse a ella al 100% por la falta de infraestructura o por no contar con los dispositivos adecuados (Forbes, 2021).

Como se verá más adelante, las propuestas de PDP no consideran la mejora a la conectividad aun cuando esta es fundamental para el despliegue de la I4.0. Sin embargo, en las sesiones del Comité para el despliegue de la 5G en México, sí se explicitó que su uso y asignación en el entorno industrial era prioritario, pues se espera que con la tecnología 5G se expanda la potencialidad de las tecnologías disruptivas vinculadas a la I4.0.

Tabla 2-2 Diferencias entre las diferentes generaciones de redes móviles

	1G	2G	3G	4G	5G
Año	1970-1980	1980-1990	2000	2008	2018
Velocidad	1-2.4 kbps	14 - 64 Kbps	384Kbps - 2Mbps	100 Mbps en movimiento 1 Gbps inmóvil	10 Gbps
Latencia	NA	Algunos segundos.	74 milisegundos	35 milisegundos	1-2 milisegundos
Servicios	Voz	SMS y USSD, <i>roaming</i> , conferencia, llamada (en espera, retención, transferencia, bloqueo, identificación), grupos cerrados de usuarios (CUG), autenticación, facturación basada en los servicios prestados.	Acceso a Internet, llamadas de video, chat, conferencias, televisión móvil, GPS, servicios multimedia y aplicaciones móviles.	Multimedia y <i>streaming</i> de alta resolución, servicios 3D, computo en la nube, acceso a información, dinámica.	Personas y dispositivos conectados en todo momento y en cualquier lugar.
Lugar de lanzamiento	Japón	Europa.	Japón / Reino Unido	Japón / Europa (UIT)	Asia / Europa

Fuente: elaboración propia con base en Anzola, Miguel Felipe, 2021; Duarte, 2015, 2015; Plokiko, 2020; Universidad Internacional de Valencia, 2018.

La búsqueda por mejorar la conectividad radica en que la producción de grandes cúmulos de información en tiempo real que, de poder ser gestionada por las empresas, conduciría a una mayor competencia; se buscan manufacturas que se sostengan en la digitalización, la minería de datos y *big data*, elementos que habilitan y eficientizan la comunicación M2M y de las personas con el sistema de máquinas en una cadena de suministros que la tendencia a la total



virtualización. Del mismo modo, la creación de cadenas digitales habilita la comunicación de los productos con el ambiente, y los socios de negocios al utilizar IoT y los productos inteligentes: objetos conectados a internet (Grabowska, 2020). Estas son las características fundamentales del nuevo paradigma industrial y, de acuerdo a los autores, son las mercancías las que controlan el sistema de producción, pues es la propia tecnología la que influye y decide en el volumen, la calidad y la funcionalidad de los productos. La conexión entre industria, entorno y mercancías permite mayor adaptabilidad de la industria a las demandas de los productos y de la propia industria en relación con los movimientos de sus competidoras (Grabowska, 2020); los propios algoritmos detectan los gustos y necesidades del consumidor y retroalimentan los procesos productivos.

El crecimiento constante en el volumen de dispositivos y el flujo de información que navega a través de ellos, supondría la necesidad de adoptar la tecnología 5G para mantener y potenciar la capacidad de conexión. Empero, como toda tecnología, no está exenta de riesgos asociados: el despliegue de la gran cantidad de antenas y torres necesarias para la transmisión de datos, ocasionaría que usuarios y no usuarios de la red estén expuestos de manera constante a ondas de radio y campos electromagnéticos cuyos efectos aún son debatidos, del mismo modo, el incremento en el flujo de información derivado de la 5G, aumentaría la posibilidad de ciberataques y robo de información (Swiss Re Institute, 2019).

Por otro lado, un elemento fundamental de la conectividad de la estandarización de redes. Su importancia radica en que, de no existir, no sería factible una conexión entre diferentes operadores de servicios móviles fuera del área de servicio. Cabe señalar que el desarrollo de las redes inalámbricas se adecúa a las crecientes posibilidades de uso que tienen los nuevos dispositivos generados los cuales tienen cada vez mayor capacidad de procesamiento de datos.

Las medidas de latencias, las bandas de frecuencias y la capacidad de transmisión son algunas de las características que describen a redes móviles, mismas que se basan en estándares establecidos por organizaciones internacionales adecuados y aprobados por agencias estatales. Algunos de los principales organismos internacionales de estandarización en relación al tema de las telecomunicaciones son:

- 1) Coalición 3GPP. Estableció los primeros estándares referentes a las redes de quinta generación: la velocidad de 10 Gbps y una latencia de 1 a 2 milisegundos (Álvarez, 2018). El proyecto surge en 1998 y se conforma por siete organizaciones que ya desarrollaban estándares en telecomunicaciones; su objetivo es producir especificaciones técnicas sobre las redes móviles (3GPP, 2022).
- 2) La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es la dependencia de Naciones Unidas especializada en TIC. Establece estándares mundiales de interconexión; emite recomendaciones y estándares para la regulación del espectro radioeléctrico, y se encarga de promover la cooperación internacional en lo que toca la asignación de órbitas satelitales; fundamentales para la implementación de tecnologías digitales. Sus recomendaciones se desarrollan por medio de reuniones de expertos y tienen como objetivo disminuir los costos para las empresas en cuanto a la instauración de la tecnología. Según sus lineamientos, tanto países como empresas disponen de derechos igualitarios para proponer y elaborar recomendaciones (UIT, 2022).
- 3) La Organización Internacional de Normalización (ISO) es un organismo internacional que interviene en el desarrollo de normas internacionales sobre fabricación, comercio y comunicación en las distintas ramas industriales, exceptuando las ramas eléctrica y electrónica (Muñoz Jiménez, 2017). En lo que respecta a la 5G, han propuesto distintos estándares sobre la infraestructura necesaria para su despliegue (ej. estructuras arquitectónicas y sistemas abiertos de interconexión) (Muñoz Jiménez, 2017). Además, esta organización junto a la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) han creado varios estándares para servicios y productos relacionados a I4.0, entre los que destacan los ISO/IEC 2000., aplicados a las tecnologías de información, y el ISO/IEC 30141, relacionado al funcionamiento del IoT (ISO, 2022b; ISO/IEC, 2018). Cabe mencionar que el organismo participa dando seguimiento a los ODS y es en el objetivo nueve, referente a industria, innovación e infraestructura, en el ámbito en el que cuenta con una mayor cantidad de estándares: 13,098 (ISO, 2022a).
- 4) El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos y el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet son otros de los agentes internacionales más relevantes en la estandarización de componentes para estructuras en telecomunicación; el segundo se focaliza en la

normalización y estandarización que tienen por objeto contribuir al desarrollo de internet a nivel técnico (Muñoz Jiménez, 2017).

En México el principal organismo que interfiere con el establecimiento de estándares es el Instituto de Normalización y Certificación (NYCE) mismo que es reconocido como un organismo nacional de normalización para la industria electrónica especializada en TIC. Este organismo es uno de los de mayor influencia en la resolución de estándares de normalización aceptados como las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de carácter obligatorio, y las Normas Mexicanas (NMX), las cuales se expiden como recomendaciones, para las distintas industrias en las materias que atienden (NYCE, 2022).

Un análisis más profundo sobre los organismos nacionales de normalización, las NOM y las NMX, así como otros lineamientos y reglamentaciones que intervienen tanto para la asignación del espectro radioeléctrico como la implementación en redes 5G será analizado más a detalle en el capítulo sobre regulación y reglamentación.

En el caso de las redes inalámbricas, hemos visto que, aun cuando el espectro radioeléctrico es propiedad estatal, a fin de poder establecer un sistema de comunicación es imprescindible que el Estado se adecúe a los requerimientos del mercado y de las empresas, pues los dispositivos y el componente técnico se modifica mucho más rápido que las redes y la infraestructura necesaria para utilizar su capacidad. Son las empresas a través de sus dispositivos las que han determinado la necesidad o no de crear redes con mayor capacidad de transmisión de datos.

Otro elemento fundamental en el entorno tecnológico de la I4.0 es la IA. Cómo se ha dicho previamente una de las características principales de la I4.0 es la hiperconectividad y la comunicación de M2M. La capacidad de transmitir sin intervención humana es lo que define la fábrica inteligente y al IoT; el *big data* y la ciencia de datos propician la extracción del valor en la información, mientras que la IA está orientada a crear mecanismos que imiten el comportamiento humano (Micheli Thirion, 2022). Así, además de establecer un canal pertinente para la transmisión de datos e información como son las redes 5G, también es necesario que dichas máquinas estén dotadas de instrucciones comandos que les permitan comunicarse unas con otra al tiempo que les sea posible ya que procesa la información a fin de automatizar tareas de manera más eficiente.

Otro de los elementos fundamentales para el desarrollo técnico de la I4.0 es la IA, definida como un conjunto de algoritmos generados a partir de diversas entradas de datos que permiten la creación de árboles de decisión por medio de los cuales eficientizan resultados. El objetivo de la IA no es otra cosa que la automatización de tareas y procesos que requieren de destreza o capacidad intelectual y funciona como un sistema social y tecnológico, pues debe interactuar con el mundo que los rodea en un contexto determinado (V. Martínez, 2021).

Una vez llevado a cabo el procesamiento de información, los sistemas IA seleccionan de manera más eficiente el mejor resultado, brindan información a las personas para que decidan de manera más eficiente, o incluso para modificar el contexto que lo alimentó previamente: una de las principales funciones de la IA es interferir en nuestras decisiones y en nuestros comportamientos (Guirardi, 2021; V. Martínez, 2021).

La mayor parte de los sistemas de IA se basa en los modelos llamados de aprendizaje automático o *machine learning*. Este proceso consiste en que los algoritmos de IA buscan patrones consistentes en los datos que se le dan como insumo, esto son los datos de entrenamiento. Por lo anterior, es posible decir que el desempeño de los sistemas de IA depende en buena medida de la calidad de los datos con los que son entrenados (V. Martínez, 2021).

Cabe señalar que los Sistema de Información de Artificial (SIA) más avanzados desarrollan un aprendizaje profundo o *deep learning*, el cual intenta emular el funcionamiento de las redes neuronales del cerebro humano y lo traduce en funciones matemáticas (Guirardi, 2021), pero este puede llegar a ser inexplicable, no trazable o poco auditable (Corvalán, 2021), es decir, el proceso de información se convierte en una caja negra de la que se desconoce el proceso.

Lo anterior ha provocado la necesidad de establecer ciertas normativas y lineamientos para el funcionamiento de los SIA, aunque todavía existen pocas normativas sobre el tema. No obstante, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) generó un documento que contiene una serie de recomendaciones sobre el tratamiento ético de la IA. En dicho documento la Organización considera que los sistemas IA son aquellos capaces de gestionar información y datos de manera similar a la que los

procesa el intelecto humano; esto abarca áreas como el aprendizaje, la predicción, el razonamiento, la planificación y el control (UNESCO, 2021).

La UNESCO sostiene que son tres los elementos que ocupan un lugar central en la definición de lo que entendemos por IA: 1) el procesamiento de información por medio de modelos y algoritmos que permiten el aprendizaje y la realización de tareas cognitivas que dan como resultado la toma de decisiones en entornos ciberfísicos; 2) los sistemas de IA tienen un ciclo de vida que va desde la investigación hasta el fin de los servicios del sistema, y 3) el funcionamiento y manejo de estos sistemas plantean cuestiones y discusiones éticas debido al gran impacto de las decisiones derivadas de su funcionamiento (UNESCO, 2021).

Este último es fundamental para establecer lineamientos regulatorios, ya que el uso de los sistemas basados en IA pareciera diluir la responsabilidad humana de las decisiones tomadas con base en los algoritmos que la sustentan, aun cuando estos sistemas no dejan de ser una construcción de las personas y derivan de su propia acción primaria.

Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Uruguay son los países de América Latina que han desarrollado estrategias que buscan regular el alcance de los sistemas de IA de acuerdo a ciertos postulados éticos, siendo Uruguay el único que la ha aplicado expresamente al sector público (Guio, 2021; Mejía, 2021). En este sentido, algunas de las estrategias de política utilizadas para corroborar la utilidad de las políticas sobre IA han sido los *sandbox* regulatorios o el *policy prototyping innovation hubs* (Mejía, 2021).

Tabla 2-3 Estrategias de IA para América Latina

País	Año	Organismo	Estrategia	Objetivos y consideraciones	Estrategias de política
Argentina	2020	Presidencia de la Nación.	Plan Nacional de IA de Argentina – Argelia.	Utilizar la IA para la consecución de los ODS.	Involucramiento de actores. Encuentros de formación. Creación de proyectos específicos.
Brasil	2021	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.	Estrategia Brasileña de IA.	Facilitar el acceso a datos abiertos Estimular la innovación en IA.	Crear programas de alfabetización digital. Desarrollar ocho centros de IA.
Chile	2021	Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.	Política Nacional de IA.	Desarrollo de la IA en 10 años considerando el impacto social, la inclusión y el DS Tres ejes: factores habilitantes, desarrollo y adopción y éticas, aspectos normativos e impactos sociales y económicos.	Fomento de emprendimientos con base científica. Promoción de capacitación. Hub de infraestructura tecnológica.
Colombia	2020	Consejería Presidencial para Asuntos Económicos y de Transformación Digital.	Marco ético para la IA.	Establece para la implementación de los SIA: No discriminación: los SIA no pueden generar resultados que atenten contra el bienestar de minorías o grupos vulnerables.	El procesamiento de datos debe estar en constante monitoreo y evaluación para prevenir que se priorice a grupos históricamente privilegiados. Sandbox regulatorio para probar soluciones de IA que respeten la privacidad desde el diseño y por defecto.
México	2018	Subcomisión de IA dentro de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo del Gobierno Electrónico.	Estrategia IA-MX 2018.	Establecer un marco de gobernanza para su uso.	Trabajo con expertos. Consulta pública. Mapear necesidades de la industria.
Perú	2021	Secretaría de Gobierno y Transformación Digital, Presidencia del Consejo de ministros.	Estrategia Nacional de IA (ENIA).	Impulsar la investigación, desarrollo y adopción de la IA en el país. Definir para que se van a usar los SIA. No rezagarse en el desarrollo económico.	Evaluación comparativa. Análisis interno y consulta a expertos. Encuesta pública.
Uruguay	2019	Agencia de gobierno electrónico y sociedad de la información.	Estrategia de IA para el Gobierno Digital.	Promoción del uso responsable de la IA en la gestión y los proyectos públicos.	Desarrollo de marcos jurídicos, técnicos y normativos.

Fuente: elaboración propia

De la experiencia internacional, se puede extraer que existen dos tendencias principales respecto a la regulación y gobernanza de IA: 1) espera a ver las posibles afectaciones y efectos de estos sistemas, y 2) la prevención de los riesgos potenciales que la IA pudiese generar, lo cual implica una amplia investigación y un análisis profundo para prever los riesgos con un mayor índice de certidumbre (Guio, 2021). Cabe mencionar que existe una tercera vía que implica la completa prohibición del uso de IA (Mejía, 2021), sin embargo, dado el avance tecnológico y la adaptación a este que viene aparejada con la búsqueda de desarrollo, esta opción resultaría inviable en la mayoría de los casos.

Del mismo modo, en el Foro regional de Sao Paulo sobre IA se hicieron una serie de recomendaciones sobre el uso de estos sistemas y se estableció una agenda que contempla iniciativas orientadas a la investigación y capacitación. La intención de estas era acercar la IA a las poblaciones que desconocen sobre el tema haciéndola más inclusiva e interactiva. Del mismo modo, se pretendía fomentar la inversión para la capacitación de las personas a fin de que estas pudiesen interactuar con los sistemas de IA. Asimismo, se postuló la necesidad de también invertir en plataformas y aplicaciones que visibilizaran la producción local en este ámbito. El mismo foro plantea la inclusión de estrategias para vincular a la IA con políticas de desarrollo socioeconómico de las naciones lo que apunta a que las próximas políticas de desarrollo productivo estarán expresamente orientadas al fortalecimiento de los sistemas de IA (A. L. Martínez, 2021).

Por su parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y el grupo de expertos de alto nivel sobre IA de la Comisión Europea establecen algunos requisitos esenciales que deben cumplir los sistemas de IA para ser confiables:

- Incluir la intervención y supervisión humana.
- Deben ser robustos y garantizar la seguridad humana.
- Garantizar la privacidad de los datos y establecer mecanismos para su gobernanza y gestión.
- Deben ser transparentes y explicables. Esto significa que debe poderse explicar el funcionamiento del algoritmo que se utilizó para sustentar determinada decisión o acción y no permitir que el mismo se convierta en una caja negra.

- El uso de la IA tiene que estar basado en los principios de diversidad, no discriminación y equidad.
- Deben ser usados para el bienestar social y medioambiental.
- Es preciso garantizar la responsabilidad y la rendición de cuentas de los actores involucrados en la generación y procesamiento de los sistemas de IA (Mejía, 2021).

El desarrollo de la IA ha provocado importantes cambios geopolíticos; es la primera vez en la historia que la mayor parte de la información generada no se concentra en el entorno estatal, sino se da como resultado de los grandes cúmulos de información (*big data*) que se procesa a partir de la comunicación de las personas con el entorno y con los dispositivos, y de los dispositivos entre sí. Se dice que la era analógica funcionaba a 120m por segundo, pues esta es la velocidad con la que se mueven las neuronas, más hoy en día la información se moviliza a 300 millones por segundo, pues es esta la capacidad de procesamiento que tienen los nuevos algoritmos de IA, que funcionan como los nuevos motores de la industrial y cuyo combustible son los datos (Guirardi, 2021): Ray Kurzweil sostiene que para 2045 los SIA serán capaces de multiplicar por un millón la inteligencia humana eficaz (Observatorio de IA, 2017).

Es notorio que la vida actual se lleva a cabo a través de algoritmos que eficientizan procesos y hacen ciertas actividades posibles o más llevaderas, pero que no de implicar posibles consecuencias no deseadas. De acuerdo a Vinuesa et al (2020), 134 ODS pueden resolverse mediante el uso de SIA siempre y cuando su funcionamiento responda a ciertos principios y regulaciones. Más aun, los mismos autores plantean que existen otros 59 que se verían exacerbados con consecuencias devastadoras al intentar resolverse bajo soluciones de SIA.

Uno de los riesgos más destacables de la IA es su potencial de replicar prácticas discriminatorias reproduciendo sesgos étnicos y de género (Asher Hamilton, 2022; Guarneros Olmos, 2023); esta herramienta tecnológica funciona con instrucciones que emulen el actuar de humano (algoritmos) que se entrenan o alimentan de información dada por profesionistas cuyas perspectivas y modos de actuar no son neutrales, pues responden a creencias, ideologías y contextos específicos lo cual puede llevar a una profundización de



ciertos enclaves sociales preexistentes como la brecha de género o la discriminación hacia ciertas etnias.

Al igual que cualquier otra, las tecnologías IA no están exentas de riesgos que se potencializan por el propio funcionamiento de los algoritmos que están detrás de ella; sus resultados pueden ser sumamente opacos y generar situaciones en las que se diluye la responsabilidad humana. Los riesgos de los SIA pueden interferir incluso a un nivel personal pues son capaces de insertar ideas ajenas y controlar nuestras decisiones y formas de comportamiento, incluso decidir sobre quién vive y quién muere al utilizarse en ciertos programas de política o en los programas de asignaciones de seguros referentes a la salud (Ford, 2016).

Por su parte, los CPS son otra de las tecnologías indispensables al hablar de I4.0. Estos sistemas son implementados para integrar la computación y los componentes físicos a fin de incrementar la capacidad, el uso y la resiliencia de los sistemas de ingeniería y producción (NSF, 2021). Además, permiten un mayor flujo y procesamiento de datos al tener la capacidad de relacionarse, interactuar y monitorear objetos físicos en un entorno virtual (NSF, 2021)

Los CPS funcionan con base en un símil digital de productos, maquinaria e incluso humanos a través de la IA, la realidad virtual y la realidad aumentada (Lopátegui, 2022). Comprenden dispositivos y maquinaria inteligentes con grandes sistemas de almacenamiento e infraestructura; de manera autónoma pueden procesar información, ejecutar acciones y autorregularse (Ynzunza Cortés et al., 2017).

Uno de los objetivos del utilizar este tipo de sistemas es la homologación de artefactos, ambientes y humanos como actantes y no actores, es decir, incorporar todos los elementos de la producción en una sola categoría y desestimar todo aquello que individualiza al ser humano lo cual implica desproveerlos de ideología, símbolos y subjetividades para que cumpla una función como si fuera un engrane más del proceso productivo (De León et al., 2022).

Aun cuando uno de los objetivos de estos sistemas es la reducción de riesgos y la adaptabilidad, una de las implicaciones de su utilización es la presencia de cierto grado de sumisión de aquello considerado humano hacia lo tecnológico (De León et al., 2022)

considerando la homologación de cada uno de los componentes de la producción, incluyendo a las personas.

### 2.1.2 INDUSTRIA 4.0 COMO POLÍTICA PÚBLICA

Se ha cuestionado el nivel de los beneficios económicos de las tecnologías: hay quienes consideran que las nuevas tecnologías no aportan el mismo beneficio económico que las que les precedieron, y aquellos que piensan que estas tienen un potencial subutilizado para generar un rápido incremento de la productividad. Una posición intermedia refiere a que los beneficios económicos de las tecnologías disruptivas no van a ocurrir de forma automática o inmediata, sino que para obtenerlos es indispensable que se generen estrategias adaptativas a fin de complementar las capacidades de la fuerza de trabajo, las estructuras organizativas y las políticas públicas que tengan injerencia en el funcionamiento de los mercados (Qureshi, 2017).

A pesar de que la inversión pública en I+D se ha reducido en los últimos años, se ha sugerido la necesidad de incrementarla para generar conocimiento público y elaborar programas para la divulgación de los resultados de esta inversión a fin de que las empresas tengan acceso igualitario a la misma (Qureshi, 2017). De igual modo, se ha sugerido que el Estado establezca mecanismos para recuperar la inversión hecha con el objetivo de fortalecer los presupuestos designados al desarrollo de CyT (Qureshi, 2017).

Varios son los componentes de una política industrial; estos van desde lineamientos para la asignación de presupuestos a proyectos relevantes, hasta mecanismos de ingeniería institucional los cuales están orientados a modificar las tendencias de los mercados y a partir de modificaciones en el comportamiento de los agentes económicos que los operan (Cimoli et al., 2009).

En este sentido, Rothwell y Zegveld (1981) consideran que existen tres capas de intervención de la política pública: la oferta, la demanda y el entorno. La primera refiere al establecimiento de programas enfocados en la creación de empresas y su fortalecimiento (ej. Oferta educativa apropiada, desarrollo científico, información abierta para las empresas). Por su parte, la demanda implica la promoción de estructuras externas a las empresas, pero que las provean de los servicios necesarios para su funcionamiento (ej. servicios bancarios y

comerciales, existencia de parques industriales). Por último, el entorno refiere al establecimiento de reglas y programas públicos para el funcionamiento de un mercado competitivo (ej. Financiamiento, regulación y planes nacionales de información). En este trabajo es el último de los componentes el que nos interesa analizar, particularmente lo que refiere a la reglamentación y el financiamiento enfocado expresamente en la I4.0.

Es de destacar que el concepto también considera la idea de la acumulación de habilidades y la generación de conocimientos. De acuerdo a esta perspectiva, el desarrollo industrial depende en gran medida de la planificación y del aprovechamiento de las tecnológicas disponibles para este fin (Romero, 2016). Sin embargo, tanto el aprovechamiento tecnológico como la implementación de estrategias de política cuyo fin sea el incremento en la productividad han de enfocarse en áreas específicas de la producción. Algunos autores señalan que una política Industrial debe de estar enfocada a determinadas industrias y las empresas que forman parte de su cadena de valor, suponiendo que el fortalecer determinados sectores resultaría en el crecimiento de la economía en su conjunto haciendo énfasis en la eficiencia de recursos, es decir, en el ahorro de los costos de transacción (Lindbeck, 2007; Romero, 2016).

En este punto, es importante señalar que la perspectiva de una política industrial únicamente sectorizada alude a un al riesgo que implica beneficiar a un sector frente a otro, pues esto orientará la ruta de acción y los resultados esperados sobre el desarrollo económico (Romero, 2016); puede apoyarse un sector que posteriormente no resulte tan benéfico para el desarrollo de los países como consecuencia de múltiples variables como afectaciones al medio ambiente, pandemias o los cambios tecnológicos. Además, se apunta que carecer de una estrategia de política industrial podría implicar que se está de acuerdo con el funcionamiento de los mercados y con la división internacional del trabajo establecida (Chang, 2003).

Lo anterior sugiere que el concepto de política industrial únicamente considere herramientas a las políticas sectoriales como motores del desarrollo económico. Sin embargo, en lo que concierne a la I4.0, está funciona por medio de la interacción de distintas tecnologías disruptivas, lo cual tiene como una de sus principales repercusiones en la cadena de valor; además de acortar tiempos de producción en la propia fábrica, también la distancia entre las diferentes empresas que la conforman. Lo anterior implica que todo proceso

productivo está cada vez más conectado con otro tipo de industrias y empresas, por lo que considerar únicamente la política sectorial como política industrial podría desfavorecer los resultados esperados.

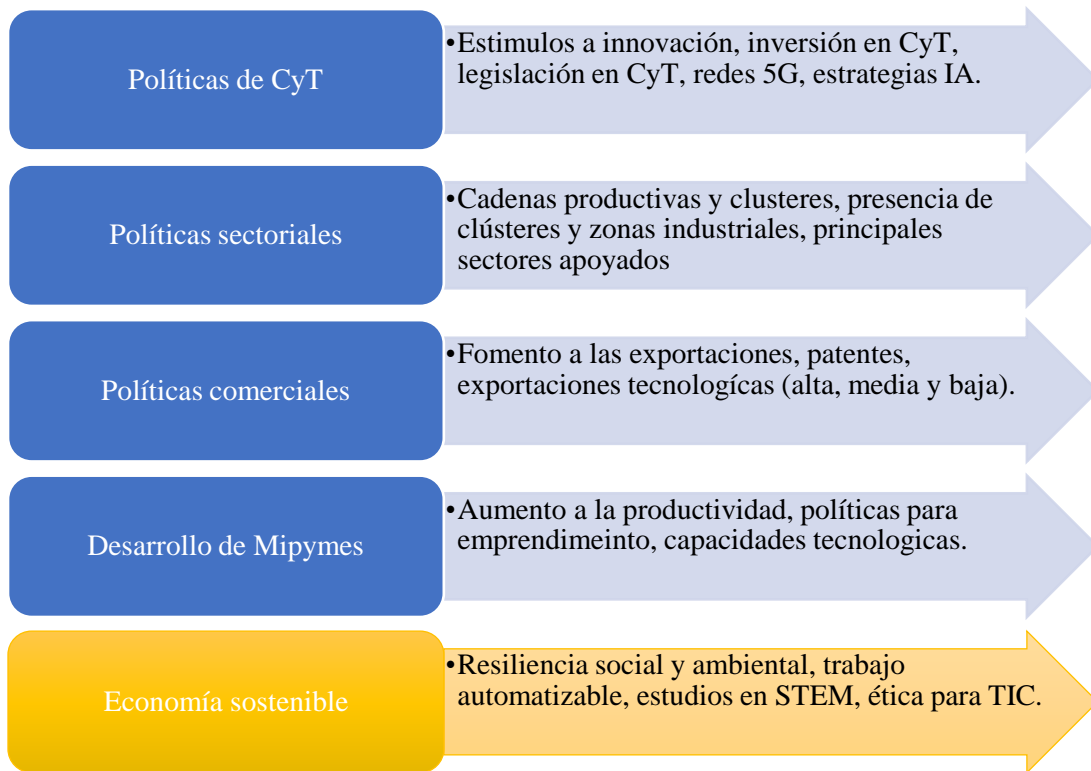
Más allá del soporte a la producción de manufactura o al impulso de ciertas áreas por sobre otras, las políticas públicas orientan acciones al aumento de la productividad, debiesen incluir un amplio espectro de sectores productivos. La I4.0 está muy vinculada a nuevas formas de negocio que no necesariamente están produciendo un producto, sino un servicio como es el caso de la antes mencionada economía colaborativa, así como a micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) que no necesariamente se dedican a la transformación de insumos. En este mismo tenor, la Organización para el Desarrollo Industrial de Naciones Unidas (UNIDO, por sus siglas en inglés) señala que la I4.0 no puede estar acotada a la manufactura aun cuando este sea el principal sector involucrado, pues el término engloba otro tipo de servicios y de sectores económicos como el transporte, la logística o incluso los servicios médicos que ejemplifican el uso conjunto de las tecnologías y los procesos involucrados en lo que se ha definido como I4.0 (UNIDO, 2017). Por lo anterior es imprescindible remitirse al concepto de políticas de desarrollo productivo, pues este propone la inclusión de diferentes actividades productivas, sectores y otros factores que inciden de manera directa en la productividad de los países.

En este sentido, Dini (2022) señala que son cinco los pilares fundamentales de la PDP: las políticas sectoriales; las políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI); las de desarrollo de pequeñas y medianas empresas; las políticas comerciales, y aquellas orientadas a la economía social y solidaria (ESS). Cabe señalar que, como veremos más adelante, en lo que toca a la I4.0 son particularmente importantes las tres primeras: las políticas sectoriales en cuanto a su vínculo con la promoción de cadenas productivas y clústeres; las de CyT considerando que la I4.0 está basada en el desarrollo de una economía fundamentada en tecnologías disruptivas, y las políticas orientadas al fortalecimiento de la Mipymes pues fueron estas hacia las que se orientaba la estrategia de política surgida en la feria de Hanover de 2011, más aún, la mayoría de los programas de PDP están orientados hacia este tipo de empresas pues conforman cerca del 90% de la base económica empresarial aunque que son el sector económico menos productivo (Dini, 2022).

Cabe señalar que en la presente investigación se propone modificar el último pilar, es decir, el de ESS, pues implica un trabajo colaborativo, comunitario y de propiedad colectiva que pareciera inviable en el marco de la I4.0. La ESS es un concepto de relativamente reciente creación que considera la generación de empresas, organizaciones o colectivos que además de perseguir beneficios económicos, también atiendan objetivos sociales y medioambientales, y busquen satisfacer las necesidades de la comunidad en la que se desenvuelven (INES, 2021). Este tipo de economía se basa en la propiedad colectiva de bienes, la autonomía de los miembros, una toma de decisiones democrática y la distribución equitativa de los beneficios en la comunidad (INES, 2021).

En vista de que entre más tecnologizado este un sector, mayores son los costos de aprendizaje y de acceso; instrumentos como las patentes y los secretos industriales, así como las capacidades digitales son algunos de los elementos que dificultan la socialización de ciertas innovaciones y la distribución equitativa de recursos. En lugar de la ESS, se propone la noción de *economía sostenible*, es decir, el considerar elementos dentro de la PDP que aludan a la permanencia a futuro de una economía basada en alta tecnología bajo una relación de interdependencia entre la búsqueda del crecimiento económico, el soporte ecológico y la equidad social (Semarnat, 2018) incluyendo herramientas que incidan en atenuar los riesgos potenciales del uso y despliegue de nuevas tecnologías.

Figura 2-1 Pilares de la PDP para la Industria 4.0



Fuente: elaboración propia con base en Dini (2022)

A pesar de que se habla de que el concepto I4.0 tiene dos perspectivas una que viene desde la academia y otras desde el entorno industrial (Soltovski et al., 2020), lo cierto es que, desde la creación del término, se explora la relación de las políticas gubernamentales con la evolución de las innovaciones que intervienen en la I4.0 en el contexto de una dependencia cada vez mayor hacia los actores que ofrecen conectividad. Además, como se ha mencionado, las propias empresas no pueden determinar ni las reglas ni los planes de acción para perseguir la acción innovativa en su conjunto (Yang et al., 2019), ni tampoco determinar cómo se hará un despliegue generalizado de insumos para la industria y la innovación como es el caso de la 5G: las innovaciones son mayormente manejadas hacia la búsqueda del desarrollo nacional de CyT (Yang et al., 2019). Algunos autores han mencionado la necesidad de establecer políticas públicas que propicien el desarrollo en CyT e innovación, pero también las orientadas al desarrollo y la competitividad industrial (Kuo et al., 2019; Qureshi, 2017).

Varios autores señalan que la clave para la productividad a largo plazo está dada por las políticas de innovación y tecnología (Cherif & Hasanov, 2019). Se ha dicho que aquellos

países cuyas estrategias de desarrollo productivo están basadas en la innovación y no en la inversión tienen una probabilidad mayor de alcanzar la frontera tecnológica mundial (Acemoglu et al., 2006). En esta misma línea, existe evidencia que muestra que tener exportaciones consideradas de alta tecnología es una variable explicativa no sólo para el desarrollo económico, sino también influye en condiciones sociales como la calidad institucional y la educación (Cherif et al., 2018; Hausmann et al., 2007). Otros autores sostienen que la generación de productos de alta tecnología influye tanto como tener una población con alto nivel educativo en la disminución de la probabilidad de experimentar decrecimiento económico (Eichengreen et al., 2013), al tiempo que una alta tecnologización y un rápido cambio hacia la productividad industrial, disminuye la inestabilidad macroeconómica y tiende a mantener una inflación interna por debajo del 10% (Bulman et al., 2017). La anterior resalta la importancia de la innovación y el desarrollo tecnológico, no sólo en lo que toca a factores económicos, sino también respecto a variables de índole social. No es aventurado decir que quizá el componente más importante en las PDP sean las políticas de innovación y desarrollo.

Aun cuando en la actualidad la mayor parte de la PDP está enfocada en la modernización y tecnologización de las industrias y empresas (Dini, 2022), no todos los programas y estrategias de política pública colocan a la I4.0 como eje transversal del desarrollo productivo. En América Latina solamente se han encontrado tres países en los que se establecen de manera explícita planes, programas o estrategias dirigidos al impulso de la I4.0 entendida como el conjunto de sectores económicos cuya productividad se basa en la alta conectividad entre máquinas, así como una alta predictibilidad ante los cambios en los flujos de mercado basada en la gestión de grandes cúmulos de información.

Sin duda, resalta la necesidad de establecer una estrategia nacional que conduzca el crecimiento económico de los países. No obstante, es de señalar que una PDP no puede omitir el desarrollo local para incrementar la productividad (Albuquerque, 2015). Las políticas que buscan fortalecer la producción local son indispensables para poder fomentar el desarrollo productivo; de no haber un fortalecimiento del mercado interno y una articulación interna con respecto a las actividades productivas no habría un dinamismo suficiente que hiciese crecer la economía; la intención última de las PDP es generar un desarrollo económico

inclusivo, esto es, integrar a las economías locales a las cadenas globales de valor (Alburquerque, 2015).

El propio concepto de I4.0 tiene su origen en una estrategia de PDP establecida por el gobierno alemán que tenía como objetivo fortalecer las capacidades tecnológicas de las Mipymes y las empresas manufactureras, así como mantener altos grados de competitividad entre ellas (Acatech, 2013b; Knutov & Styrin, 2020), es decir, se buscaba el fortalecimiento de la producción desde dentro.

Como se muestra en el análisis de la evolución histórica de las políticas industriales y desarrollo productivo (Dini, 2022), no es sino hasta los años 2000 que existe una considerable diferenciación entre las políticas de Latam con respecto al resto de los países. En la región latinoamericana se ha privilegiado no sólo la sectorización de sus políticas, sino también su regionalización. En el caso de México, no hay propiamente una estrategia de desarrollo productivo a nivel nacional, sin embargo, la gran mayoría de la política pública en esta área se lleva a cabo desde los gobiernos subnacionales.

Si bien se ha dicho que la noción de I4.0 tiene una perspectiva de análisis desde la academia y otra desde el entorno industrial (Soltovski et al., 2020), cierto es que ya desde el origen del término se estudia la relación entre las políticas públicas y el desarrollo de las innovaciones y las tecnologías vinculadas a la I4.0 y probablemente sean estas últimas las que ha promovido una mayor interacción entre las diversas tecnologías que la componen reforzando los efectos a largo plazo de la también llamada cuarta revolución industrial.



Tabla 2-4 Evolución de las Políticas de Desarrollo Productivo

	Final de los setenta-1980s	1990s – 2000s	2010 - 2020	
Objetivo	Estimular el desarrollo sobre la base de la industrialización dirigida por el Estado.	Incremento de la eficiencia de los mercados.	<b>Países industrializados (UE)</b> Manufactura avanzada, IoT, tecnologías habilitadoras y fortalecimiento de sectores estratégicos.	<b>América Latina</b> Atención por el desarrollo de capacidades nacionales y regionales en sectores estratégicos.
Supuestos	Desarrollo de las capacidades nacionales/nuevos sectores aprovechando el crecimiento de la demanda interna.	El mercado determina la especialización de los países.	Enfoque dominante intersectorial para la generación de ecosistemas tecnológicos. Renovado interés para el sector manufacturero.	
Estrategia	Cambio estructural.	Reducción del papel del Estado, no hacer políticas industriales y fomento de la competitividad.	Importancia creciente de las concentraciones productivas de alcance regional. Reducir la complejidad de las cadenas	<i>Near shoring.</i>
Estrategias de política	Políticas verticales centradas en la manufactura y sustitución de importaciones.	Apertura económica, privatizaciones, mejora ambiente de negocio, políticas para las Mipymes, excepciones sectoriales.	Especialización inteligente, fortalecimiento de los territorios subnacionales y coordinación de los sectores público y privado.	Programas para el desarrollo de sectores estratégicos.
Instrumentos de apoyo	Protección de industrias nacientes, inversiones públicas, financiamiento e infraestructura.	Incentivos para atenuar las fallas de mercado y formación de recursos humanos.	Clúster, cadenas productivas, agencias de desarrollo tecnológico.	Sin variación significativa.

Fuente: adaptado de Dini (2022)

## 2.2 MIDIENDO LA I4.0

Existen diversas métricas que observan el desarrollo de la I4.0; algunas de las cuales únicamente consideran su componente técnico, mientras que otras van hasta los efectos sociales y políticos que su puesta en marcha provoca.

Comenzando por Acatech, organismo que intervino en la formulación de la estrategia alemana para el desarrollo de la I4.0, generó una matriz para estimar el grado de madurez de la I4.0. Toma como base la digitalización y la computarización de procesos, las cuales no son propiamente componentes de la I4.0, pero si son la etapa básica para que esta pueda desarrollarse. Divide la matriz en cuatro componentes: cultural, organizacional, de recursos y sistemas de información; propone una serie de elementos observables para definir cada uno de estos. Sin embargo, esta matriz está dirigida a las propias empresas a fin de que estas puedan autoevaluar su propio desempeño (Acatech, 2017a).

Por su parte, la ISO tiene una estandarización voluntaria sobre los sistemas de automatización integral y algunos indicadores claves aplicables a la manufactura (ISO 22400), así como un estándar relacionado a elementos de responsabilidad social (ISO 2600) (Žižek et al., 2020). Žižek et al. (2020) retoman los indicadores de ambos estándares y proponen una estandarización para la I4.0 que considera tanto factores de productividad industrial, como elementos relacionados a la responsabilidad social. Al igual que el anterior, este tipo de medición está orientada a la empresa en lo particular, y no mide un desarrollo de la I4.0 en su conjunto.

Ciertamente existen otros índices e indicadores que buscan una medición más global o generalizada de un sector en específico. A este respecto, el objetivo nueve de los ODS se ha denominado Industria, Innovación e Infraestructura; supone el crecimiento del sector manufacturero de una manera inclusiva y sustentable, y sostenido en la innovación e infraestructura tecnológicas (ONU, 2022b). El seguimiento de los ODS se da mediante una serie de metas que se traducen en indicadores establecidos; en lo que toca al objetivo nueve, la mayoría de estos están vinculados al crecimiento industria en sí, sin hacer referencia a la I4.0. No obstante, el noveno objetivo considera dos metas relacionadas con el desempeño tecnológico: apoyar e incentivar el desarrollo tecnológico y la innovación, e incrementar el acceso a la tecnología, especialmente el acceso universal a Internet para el año 2030 (ONU,

2022b). Dichas metas se traducen en dos indicadores: la proporción del valor añadido por la industria tecnológica al valor añadido total, y la proporción de la población con acceso a redes móviles desglosando el tipo de tecnología que usan (ONU, 2018). Estos dos indicadores resultan insuficientes para medir un avance en el desarrollo de la I4.0, pues el primero ni siquiera toma en cuenta el valor añadido por la tecnología a las industrias no tecnológicas, y el segundo porque no tiene una relación directa con la producción industrial.

Los índices o indicadores anteriores tienen en común que vienen desde organismos internacionales vinculados en forma más cercana a la idea de la I4.0 desde la perspectiva gubernamental. Ocampo et al. (2021) hacen una propuesta de indicadores a partir del análisis profundo de artículos académicos. Los autores rescatan los principales indicadores para observar el desarrollo de la I4.0 en un sentido amplio, es decir, considerando no sólo la parte técnica, sino también la perspectiva referente a la adecuación de políticas públicas y los procesos productivos encontrando cuatro grandes componentes: 1) el tecnológico, el cual mide el desempeño considerando la capacidad tecnológica y de innovación; 2) el organizacional, que contempla la afectación de la tecnología disruptiva en la toma de decisiones y procesos organizacionales dentro de la empresa; 3) el interorganizacional, cuyos componentes están relacionados a la localización geográfica (ej. proximidad física con consumidores y proveedores, logística de costos, acceso al mercado laboral) así como elementos vinculados al grado de competitividad de la empresa, y 4) el factor social y de regulación referido a la interacción de las empresas con factores del entorno que son ajenas a la organizacional (Ocampo et al., 2021).

Dada la amplitud del concepto, uno de los principales desafíos al crear indicadores e índices para medir el desarrollo de la I4.0 es la necesidad de incorporar varios componentes, como el técnico, el productivo, el de regulación y el de entorno político. El conjunto de indicadores propuesto por Ocampo et al. (2021) es útil, ya que analiza varios de ellos, sin embargo, surge la duda sobre la relevancia del componente geográfico, pues esta la I4.0 tiende a mitigar los efectos de las distancias al centrarse en sistemas hiperconectados y la interacción máquina a máquina. Además, los componentes organizacionales son indicadores que miden el grado de avance de una empresa, pero no de la industria desde una perspectiva general o sectorial.

La revisión realizada por Ocampo et al. (2021) destaca la prevalencia de indicadores enfocados en la medición de la eficiencia empresarial. Es notable que la sistematización propuesta por los autores está basada en una extensa revisión bibliográfica, lo cual sustenta lo mencionado sobre la prevalencia de la noción técnica del concepto sobre aquella que considera factores de política pública.

Una aproximación más cercana a un índice global para medir el desarrollo de la I4.0 es presentada por Hejduková et al. (2020), basada en la estrategia de la Unión Europea para promover este tipo de industria. Los autores mencionan varios indicadores de interés para medir el grado de avance de la I4.0: porcentaje de participación de la industria en el PIB, porcentaje de empresas que han introducido alguna innovación, porcentaje del sector TIC en el PIB, porcentaje de empresas con servicios en línea, porcentaje de empresas con sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) y de gestión de relaciones con los clientes (CRM), porcentaje de empresas con impresión 3D y empleados especializados en TIC, porcentaje de la población que interactúa digitalmente con el gobierno, y porcentaje de empresas que utilizan análisis *big data* (Hejduková et al., 2020).

Este último índice propone variables relacionadas con el uso de las TIC en la industria y, aunque incluye indicadores macroeconómicos que no son considerados en otros índices revisados, estos no se centran en las características propias de la I4.0. En cambio, sugieren una revisión del acceso digital de las empresas sin considerar el uso de tecnologías disruptivas en las formas de producción y consumo.

Además de los índices mencionados, existen otros índices relacionados que se enfocan en medir el grado de preparación de las ciudades y del entorno para la implementación de la I4.0 (Nick & Pongrácz, 2016). Estos índices se caracterizan por incluir principalmente aspectos regulatorios y gubernamentales, no obstante, no miden el avance de la I4.0, sino la capacidad de los centros urbanos para incorporarla en su contexto y dinámica.

El interés de esta tesis es revisar el grado generalizado de desarrollo de la I4.0 en México, por lo que para la elaboración del índice que se describe más adelante, se tomarán en cuenta aquellos indicadores que sean generalizables a la industria a nivel estatal o nacional. En este sentido, la principal diferencia entre un índice meramente industrial, en comparación a uno enfocado en la I4.0, es que esta última ha de tomar en cuenta la capacidad de conectividad, el grado de inserción de las tecnologías disruptivas en los procesos de

manufactura y la capacidad de los gobiernos para hacer frente a procesos productivos cada vez más tecnologizados.

### 2.3 RIESGOS, DESAFÍOS Y EXPECTATIVAS DE LA I4.0

La aparición del cambio tecnológico supone modificaciones estructurales en la conformación social. Las formas de producción, de socialización y de comunicación cambian sustancialmente ante la llegada de las revoluciones tecnológicas. No obstante, estas transformaciones profundas abarcan un sinnúmero de ámbitos, lo que aquí nos interesa analizar es su afectación en cuanto a las relaciones de producción.

En este sentido, una de las afectaciones deriva directamente del proceso de automatización surgido en el marco de las revoluciones industriales como parte fundamental de las revoluciones tecnológicas. Por ejemplificar lo que ocurre a este respecto en la revolución industrial actual, se calcula que en Estados Unidos el 47% y en Europa el 54% de los empleos serán desplazados por sistemas computarizados (Kovacs, 2018).

Kovacs (2018) sostiene que la automatización suele darse de forma gradual debido a distintas razones como el endeudamiento que supone el desarrollo de tecnología, y que la automatización ha sido mayormente generada para áreas en las que no hay escasez laboral, por lo que el gasto tiende ya a ser bajo. Sin embargo, los actuales cambios tecnológicos implican una reducción de los costos de automatización ya que muchos de ellos se traducen en la generación de algoritmos de IA cuyos costos son marginales. Asimismo, la innovación tecnológica en la I4.0 ha provocado que tanto empleos no calificados como empleos calificados están siendo sustituidos: los primeros porque su reemplazo es más sencillo y barato, y los segundos porque su sustitución supone una mayor ganancia a las empresas al ahorrar en trabajadores especializados (Kovacs, 2018).

Como se ha dicho, se espera de la I4.0 tenga una mayor capacidad de predicción y de adaptabilidad a los mercados, sin embargo, estas capacidades pueden estar sobreestimadas debido a que el análisis de datos masivos funciona a través del entrenamiento de la máquina por algoritmos, se puede alimentar el procesamiento con datos sesgados lo que ocasionaría el cálculo de escenarios deseables, al tiempo que se desestiman otros que son negativos, más aún, muchas veces los ciclos de negocios no requieren de tanta información para reducir la

incertidumbre en el comportamiento de los mercados (Kovacs, 2018). Kovacs (2018) también sugiere que tener mucha información no implica que esta sea la adecuada y, en cualquier caso, la participación de los científicos e investigadores no es remplazada por el *big data*, empero, el manejo de este tipo de información implica traer consigo la especialización formal de quienes la procesan.

Por otro lado, el acceso a capacidades tecnológicas suele confundirse con desarrollo. No obstante, aun cuando los precios para el acceso a cierta tecnología disminuyen y se encuentran al alcance en los países periféricos, esto no implica que haya una disminución de desigualdades o que se haga una mayor inclusión en el trabajo (Kovacs, 2018). Este abaratamiento y acceso deviene de factores como la propia generación constante de productos renovados, la producción masiva de componentes y la necesaria expansión del mercado en el sistema económico capitalista.

El aumento en el uso de maquinaria y de alta tecnología en los procesos industriales trae aparejado un incremento del desempleo y del trabajo precario (González Chávez, 2019; Qureshi, 2017). En época reciente es la tecnología y no la mano de obra la principal fuerza productiva para el desarrollo económico; los procesos de transformación industrial implican nuevas capacidades y habilidades requeridas en la fuerza de trabajo, mismas que se vuelven obsoletas mucho más rápido que en revoluciones industriales previas (González Chávez, 2019; Qureshi, 2017).

Las tecnologías digitales y la automatización generalizada han propiciado que haya una mayor demanda de perfiles laborales con un nivel técnicos y directivo, al tiempo que ha disminuido la demanda para trabajos de nivel medio y trabajos rutinarios porque ser los más proclives a la automatización, especialmente los trabajos administrativos y contables, que en México siguen siendo las carreras con mayor matrícula (IMCO, 2018; Qureshi, 2017). En contraste, se ha visto un incremento de la participación laboral de algunos trabajos poco calificados del sector de servicios y de cuidados pues estos son mucho más difíciles de automatizar (Qureshi, 2017).

Las cualificaciones requeridas para el campo laboral no han sido cubiertas con la rapidez suficiente en el ámbito educativo y la capacitación de personal. Existe poca cantidad de trabajadores con las cualificaciones necesarias que demandan las empresas, lo cual tienen un papel inhibitor de las innovaciones pues ocasiona que aquellos trabajadores con las

requeridas por el mercado de trabajo se concentren en las empresas de punta (Qureshi, 2017), fortaleciendo las desigualdades de renta y salarios. Ejemplificando lo anterior, Para 2019, América Latina ocupaba el quinto lugar en suscripciones de banda fija y móvil para 2019 apenas el 67% de la población de la región era usuaria de internet, cifra que aumentó al 75% para 2021 (Banco Mundial, 2022; A. L. Martínez, 2021) pues se ha visto que la crisis de la pandemia por COVID potencializó el uso y obligó al sector público y privado a incrementar las capacidades de conexión de la población.

Se ha sugerido que los efectos de la creciente obsolescencia de la fuerza de trabajo a causa de las nuevas tecnologías pueden atenuarse con una mayor flexibilidad laboral que cubran los cambios constantes de las relaciones de trabajo y capacitación sin afectar la seguridad y derechos sociales de los trabajadores (Qureshi, 2017). Sin embargo, a falta de una regulación estatal que garantice medidas de protección laboral que atiendan a las nuevas dinámicas del mercado, esta flexibilidad laboral únicamente propicia la aparición de un mercado laboral cada vez más precarizado.

Además, la fuerza de trabajo humana ya no compite únicamente contra sí misma, sino contra maquinas que pueden organizar mejor el trabajo y tienen mucha más capacidad de procesamiento de información (Douglas & Thomas, 2014). Aunado a lo anterior, cada vez existen más y mejores dispositivos de control sobre el trabajador quien pierde autonomía al mismo tiempo que la máquina la gana (Douglas & Thomas, 2014; FEM, 2019b).

Indudablemente, el acceso a servicios y capacidades digitales y su uso está profundizando diferencias sociales preexistentes: se sabe que los principales grupos que quedan excluidos de la conexión y las herramientas tecnológicas son las poblaciones rurales, los grupos de bajo poder adquisitivo, las personas con discapacidades y las poblaciones indígenas (A. L. Martínez, 2021). Las habilidades digitales también son una variable imprescindible para el uso y manejo de la tecnología; el 90% de la población en América Latina tiene únicamente habilidades digitales básicas, siendo fundamental el desarrollo de habilidades más robustas a fin de que las personas sean capaces de adaptarse a las nuevas formas de trabajo y de vida derivadas del gran alcance de la irrupción tecnológica (A. L. Martínez, 2021)

Por otro lado, la reglamentación estatal en cuanto a riesgos es altamente limitada. Hasta ahora no hay ninguna normatividad que detenga o contrarreste los efectos de la

sustitución de mano de obra humana por IA; tampoco existen limitaciones sobre la automatización a pesar de los evidentes efectos que provoca en el factor humano (González Chávez, 2019) que al final del día es el que consume y sostiene el sistema económico y social.

Además, la segmentación y precarización del trabajo, se ve exacerbada por las desigualdades que se generan entre las propias empresas. Se ha dicho que las tecnologías disruptivas generan rendimientos marginales, empero, Qureshi (2017) sugiere que el aumento de productividad puede estar subestimado porque hay muchos productos y servicios que se ofertan en el mercado de los bienes intangibles, cuya ganancia es la información como es el caso de las redes sociales, las búsquedas en Google y buena parte de la economía colaborativa. No obstante, la desigualdad de la renta entre las empresas ha aumentado en todos los países sea cual sea su grado de desarrollo económico y es sabido que la disminución en el crecimiento de la productividad y el aumento de la desigualdad de renta están relacionados y tienen causas comunes: las desigualdades entre las rentas de las empresas están directamente relacionadas con el avance de las nuevas tecnologías (Qureshi, 2017).

El avance tecnológico actual ha propiciado que sea un número de pequeñas empresas el que obtenga los beneficios de la alta tecnologización; ocurriendo una tendencia al monopolio. Esto ocurre por varias razones. Primero, los propios obstáculos a la difusión de nuevas tecnologías como el sistema de patentes, que actúa como barreras a la difusión de innovaciones. Por otro lado, las regulaciones actuales referidas al sistema de competencia resultan ineficientes pues, entre otras cosas, permiten las fusiones y adquisiciones empresariales sin considerar la tendencia al monopolio casi natural<sup>5</sup> de las empresas basadas en tecnología digital (Qureshi, 2017).

Es este sentido Qureshi (2017) señala que, en particular, las tecnologías digitales contribuyen a que exista una mayor concentración de los mercados ya que tiene una tendencia a generar economías de escala (menor costo por unidad producida) y producen el llamado efecto de red (mayor utilidad del bien consumido entre mayor sea el volumen de usuarios que lo consumen). Lo anterior potencializa el empoderamiento de las empresas dominantes y la globalización de las mismas ya que ni siquiera es necesario que estas cuenten con una base física para poder expandir su presencia en el mercado.

---

<sup>5</sup> En términos neoclásicos un monopolio natural es una empresa pública o privada que aun siendo la única en producir un bien o servicio, lo hace a costos similares a los de un mercado competitivo.



En este sentido, Arroyo Pichardo (2008) afirma que la globalización, como un sistema que permite la apertura económica ideológica, política y territorial lejos de reducir las diferencias entre regiones, las diferencias. En este proceso destaca el papel de las empresas transnacionales que operan bajo formas de producción específicas y que incluso han forzado a los gobiernos a admitir cierto grado de sometimiento político lo que conduce una disminución de la soberanía estatal (Arroyo Pichardo, 2008), es decir, dado el poder económico y comercial que las transnacionales representan, cierto es que los estados han perdido capacidad de negociación y de coacción ante este tipo de actores.

Vemos que aun cuando la conectividad es un derecho humano (IFT, 2021b<sup>6</sup>; ONU, 2016; Segob, 2016), lo que lo pone a la par de otras garantías individuales como el derecho a la educación, a la alimentación o a la cultura: en términos jurídicos no es posible privilegiar a unos por encima de otros, más todos han de ser garantizados por el Estado. Sin embargo, el acceso a Internet depende de múltiples factores que el Estado no puede garantizar del todo: para tener acceso a una conectividad adecuada se requiere de un despliegue de infraestructura tecnológica que permita la conexión además de contar con dispositivos capaces de vincularse a la red.

Lo anterior implica que hay condiciones que se salen por completo del alcance de los individuos y del propio Estado, pues el acceso a internet es el único derecho humano cuya provisión depende en lo fundamental del despliegue tecnológico de empresas privadas transnacionales. A diferencia de otros derechos, no puede ser provisto ni garantizado por la propia comunidad en ningún nivel y está completamente determinado y constreñido por la capacidad de infraestructura del país y de las corporaciones.

Está dinámica propicia la profundización de rezagos de poblaciones históricamente excluidas, situación que se replica de los individuos a las empresas y a los sectores productivos ocurriendo que aquellas compañías que tengan menos capacidades estructurales tendrán una conectividad más limitada y, por ende, serán menos competitivas. Más aun considerando que las empresas que ofertan productos tecnológicos tienden a formar monopolios cuasi naturales que funcionan bajo la dinámica de “el ganador se lleva todo” (Ford, 2016; UNESCO, 2021).

---

<sup>6</sup> Varias de las citas de esta referencia fueron tomadas como notas de las reuniones del Comité Técnico en Materia del Despliegue de las Redes 5G y cuyos documentos de trabajo están en proceso de realización.

El acceso a servicios digitales y su uso está profundizando diferencias sociales ya existentes: se sabe que los principales grupos que quedan excluidos de la conexión y las herramientas tecnológicas son las poblaciones rurales, los grupos de bajo poder adquisitivo, las personas con discapacidades y las poblaciones indígenas (Martínez, 2022). Las habilidades digitales también son una variable imprescindible para el uso y manejo de la tecnología; el 90% de la población en América Latina tiene únicamente habilidades digitales básicas, siendo fundamental el desarrollo de habilidades más robustas a fin de que las personas sean capaces de adaptarse a las nuevas formas de trabajo y de vida derivadas del gran alcance de la irrupción tecnológica (A. L. Martínez, 2021).

Por otro lado, los procesos de digitalización también se enmarcan en desiguales entre empresas. Además de las capacidades en cuanto a recursos que estas puedan tener; existe evidencia de que hay sectores y servicios más propensos a la digitalización y que este es un proceso muy desigual entre las diversas áreas económicas (Calvino et al., 2018; García Garnica, 2022). Se ha visto que la IoT se lleva a cabo en mayor medida en el área de manufactura en comparación a otros ámbitos de la empresa (Micheli Thirion, 2022). Además, las soluciones basadas en esta tecnología son sumamente heterogéneas pues responden a necesidades propias de cada industria (Micheli Thirion, 2022) por lo que el proceso de adquisición de este tipo de tecnologías trae consigo diferencias estructurales entre sectores y al interior de los mismos; se ha visto que existen áreas económicas más propensas a la digitalización que otras (García Garnica, 2022).

Sin duda, el aumento de la desigualdad entre las empresas se ve reflejado en la desigualdad del ingreso; el incremento en las desigualdades salariales actuales se ve explicado, en gran medida, por el aumento en las desigualdades de ganancia entre las empresas (Song et al., 2019). En este punto aparece el problema de incentivar la competencia económica en mercados cada vez más globalizados. Las leyes regulatorias se enmarcan en el derecho interno de los países y aunque existen organismos internacionales como la Organización Mundial de Comercio (OMC) que intentan regular las dinámicas en mercados internacionales, este tipo de agencias no cuenta con mecanismos punitivos o de acción para desincentivar comportamientos anticompetitivos. Resultaría necesario establecer controles de derecho internacional para regular o fortalecer la competencia en mercados globales.

Sin embargo, a pesar de los riesgos latentes y las potencialidades adversas, es pertinente mencionar que existe un lado más amable referente al despliegue de las tecnologías de la I4.0. En este sentido, desde 2017, El Foro Económico Mundial (FEM), cuenta con un equipo específico para el tratamiento de temas relacionados a la sociedad y la innovación. En su último reporte, se abordaron tres consideraciones sobre cómo enfrentará la sociedad civil los retos planteados por la llamada cuarta revolución industrial:

- El reconocimiento de la sociedad del rol de la tecnología en la resolución de nuevos y viejos problemas sociales.
- La respuesta de las organizaciones de la sociedad civil para resolver las tensiones propiciadas por la implementación de la I4.0.
- La necesidad de que las organizaciones de la sociedad civil realicen propuestas críticas para liderar áreas clave de la 4RI (FEM, 2019a)

De acuerdo con el reporte de FEM (FEM, 2019a), las principales tecnologías de la I4.0 que se han utilizado para la resolución de problemas sociales son: la gestión de datos, IoT, IA y aprendizaje automático, *blockchain*, drones y vehículos autónomos, impresión 3D, realidad virtual y aumentada, y biotecnologías. Estas tecnologías han sido utilizadas por las organizaciones de la sociedad civil en la resolución de diversos problemas sociales que se incluyen en cinco principales categorías de acuerdo al informe del FEM (FEM, 2019a):

- Comprender a las comunidades y sus necesidades.
- La prestación de servicios de precisión.
- Comunicar nueva información de manera más efectiva.
- Seguimiento, compilación y verificación de información.
- Pronosticar tendencias e influir en la toma de decisiones.

Por otro lado, de acuerdo a la encuesta realizada por Deloitte (2018), el uso de las nuevas tecnologías claramente supone para los altos ejecutivos de empresas transnacionales una importante mejora en los dividendos y productividad de la industria. En esta encuesta

realizada a más de 1,600 altos ejecutivos de diversas empresas e industrias transnacionales se puntualizan algunos hallazgos desde la perspectiva de los empleadores:

- La mayoría de los ejecutivos considera que las entidades con mayor influencia en la I4.0 son las organizaciones de negocios, seguidas de las agencias gubernamentales.
- Los ejecutivos creen que los temas más discutidos en su organización son la creación de nuevos productos y servicios, así como el incremento de la productividad.
- Según los ejecutivos, el cambio regulatorio y la emergencia de nuevos modelos de negocios, es uno de los temas que más impacto tienen en las organizaciones. Por el contrario, el incremento de los riesgos cibernéticos, la incertidumbre con respecto a la fuerza laboral y la inestabilidad geopolítica son temas de menor relevancia al interior de las empresas.
- El 86% de los encuestados afirmó hacer todo lo posible para la capacitación y generación de una fuerza laboral adecuada para la I4.0, mientras que el 65% de los entrevistados dijo que los sistemas educativos eran adecuados para preparar a los individuos en dicho ámbito.
- El 87% consideró que la 4RI llevará a una mayor estabilidad y equidad. Poco más de la mitad, 56 por ciento, aseguró que habría que modificar concienzudamente los contratos laborales (Deloitte, 2018)

No es raro que los altos ejecutivos y las agencias internacionales tengan una perspectiva mayormente a favor del avance tecnológico, pues los beneficios sobre el incremento de la producción son evidentes. Sin embargo, la automatización forma parte del proceso de la vieja economía política que ejerce control a través de la maquinaria, y las computadoras y la alta conectividad en la que nos encontramos traspasan ese límite y ofrecen un alto potencial para la ruptura del sistema (Negri, 1996).

Tabla 2-5 Potencialidades y riesgos de las principales tecnologías de la Industria 4.0

Tecnología	Potencialidades	Casos concretos	Riesgos	Casos concretos
<b>Manufactura aditiva</b>	Impresión multidimensional (impresión 3D). Esto incluye creación rápida de prototipos, escaneo 3D, moldes y herramientas, fabricación digital y fabricación personal.	Impresiones 3D de Oxfam para solventar equipo de saneamiento de componentes y prolongar la vida del material obsoleto (ej. lavamanos de emergencias, refugios en desastres   Handicap International 3D prostheses printing hace prótesis de distintas partes del cuerpo.	Vacíos legales (ej. proliferación en la fabricación de armas   Inseguridad económica ante la simplificación de las cadenas de suministro y de los procesos de producción.	Generación de productos ilegales   Uso de plástico ABS que contiene bisfenol-A para la producción de enseres que están en contacto con alimentos (ej. cucharas, tenedores).
<b>IA</b>	IA y aprendizaje automático. Uso de algoritmos dentro de las estructuras de datos existentes para priorización, clasificación, asociación y filtrado. Algoritmos de aprendizaje automático, de aprendizaje profundo y algunas formas de robótica.	Airbel Center, utiliza un algoritmo de aprendizaje automático desarrollado por el Laboratorio de Políticas de Inmigración de la Universidad de Stanford que empareja refugiados en áreas donde es más probable prosperar una vez reasentados.	Fallas en los algoritmos; entrenamiento adverso o negativo.	Fallas en el algoritmo de reconocimiento de voz para la valoración de la prueba TOEIC lo que derivó en cancelaciones injustificadas de visas de estudio en Reino Unido   Norman, robot psicópata del MIT   Supercomputadora Watson da recomendaciones inadecuadas sobre tratamientos contra el Cáncer.
<b>Robótica y automatización</b>	Teledetección y entrega de carga (especialmente en crisis humanitarias).	Gavi drone delivery initiative entrega a través de drones de material médico.	Se han detectado efectos psicológicos negativos de la automatización y su posibilidad.   Falta de reconocimiento de la máquina de acciones adversas.	Accidente de vehículo autónomo en Uber.
<b>Realidad virtual y realidad aumentada</b>	Mayor precisión en tareas industriales   creación de empatía, visualización creativa de impacto.	WaterAid AI chatbots (Facebook) para proyectos de agua limpia. A fin de promover la interacción con el contexto, el chatbot puede presentar al usuario a un habitante en un área remota de Sierra Leona para mostrar fotos y videos de la aldea.	Los efectos a la salud aún no se conocen del todo; se han encontrado algunos como: convulsiones, mareo, fatiga visual, desorientación.	Aplicaciones de RV están correlacionados de manera negativa con la empatía   Daydream View señala que un contenido violento en videojuegos puede provocar trastornos físicos (incremento en la frecuencia cardíaca y de la presión sanguínea) y psicológicos (ansiedad, miedo y trastorno de estrés postraumático).
<b>Big data</b>	Generación de grandes cantidades de información e indicadores (ej. transcripciones, transacciones recogidas por dispositivos, GPS, redes sociales, datos mercantiles en línea)   Intercambio de datos asociaciones.	Amnesty International Amnesty Decoders son voluntarios alrededor del mundo que analizan imágenes, documentos e información para ayudar a la investigación sobre derechos humanos (ej. análisis de tweets para identificar patrones de racismo y sexismo).	Manipulación masiva a través de grandes cúmulos de información.	Cambridge Analytica usó 50 millones de perfiles de Facebook para direccionar las elecciones presidenciales de EUA en 2016.

<b>Digitalización</b>	Generación de datos abiertos y de fácil disposición (ej. datos administrativos, datos generados por los ciudadanos, recursos compartidos disponibles en bases de datos gubernamentales)   Datos abiertos.	MercyCorps' Syria Incident Frequency Dashboard es un panel de frecuencia de incidentes en Siria   PATH Visualize No Malaria genera información en tiempo real sobre brotes de malaria a través de paneles de datos sobre incidentes de brotes de malaria y sobre despliegues de recursos.	Vulnerabilidad de la información a hackeos   Pérdida de la información ante fallas técnicas de los dispositivos.	Vulnerabilidad de datos para el robo de identidad.
<b>Ciberseguridad</b>	<i>Blockchain</i> y tecnologías de contabilidad distribuida (DLT): verificación criptográfica, intervenciones en efectivo en situaciones de crisis, capacidad de auditoría e identificación digital.	El Comité Internacional de la Cruz Roja publicó su Manual sobre protección de datos en la acción humanitaria (2017), el objetivo es ayudar al personal de las organizaciones humanitarias internacionales a aplicar los estándares de protección de datos en su recopilación y procesamiento.	Obsolescencia de la criptografía actual con la aparición de computadoras cuánticas   Hackeos masivos   Mayor rigidez social ante más control: propensión al autoritarismo ante la total visibilidad y trazabilidad.	Sharp Eyes usa televisores privados y teléfonos inteligentes para descentralizar el sistema de vigilancia. El sistema propicia el monitoreo de espacios privados y vigila a los ciudadanos en sus propios hogares   Project Dragonfly: el gobierno chino decide la información a la que se puede acceder.
<b>Computo en la Nube</b>	Disponibilidad de información en la nube desde lugares remotos   Trabajo en línea   Plataformas educativas.	Humanitarian Data Exchange es una plataforma de datos compartidos para organizaciones comunitarias.	Vulnerabilidad de la información ante hackeos masivos y fallas en los servidores.	Vulnerabilidad de la información de no establecerse medidas de seguridad apropiadas como contraseñas seguras.
<b>CPS</b>	Monitoreo para el incremento de productividad.	Sistemas de monitoreo médico   Control de procesos y etiquetado de productos   Pilotos aeronáuticos automáticos.	El monitoreo puede producir tensión física y psicológica y la productividad puede reducirse si los trabajadores perciben al monitoreo como pérdida de la privacidad	Sharp Eyes.
<b>IoT</b>	Gestión de infraestructuras y control de calidad   Generación de <i>big data</i>   Métricas en tiempo real.	Luces nocturnas, direcciones IP para rápida localización, vehículos aéreos no tripulados (UAV); productos de inteligencia.	Amenazas a la seguridad como consecuencia de la hiperconectividad de los dispositivos   Vulnerabilidad por hackeo.	Strava data heatmaps expone la ubicación de diversas bases militares.

Fuente: elaboración propia con base en información de: (BBC, 2014; BBV, 2018; Expansión, 2018; FEM, 2019a; Johnston et al., 2018; Pieranni, 2019; Taylor, 2007)

## 2.4 ALGUNAS REFLEXIONES

La I4.0, con su enfoque en la digitalización, la automatización y la interconexión de procesos industriales, propicia el desarrollo de la 4RI al transformar radicalmente las formas de producción, el trabajo y las relaciones con la tecnología. Este cambio disruptivo no sólo ha impactado la esfera industrial, sino que también ha permeado en todos los aspectos de la sociedad, desde la educación y la economía hasta la política y la cultura.

Destaca la necesidad de abordar activamente los desafíos éticos y regulatorios que acompañan a la adopción masiva de tecnologías como la IA y el IoT. La creciente preocupación por la privacidad de los datos, la discriminación algorítmica y el impacto en el empleo plantean interrogantes fundamentales sobre cómo garantizar un desarrollo tecnológico ético y equitativo.

Asimismo, la importancia de la inversión en innovación y tecnología como motores del crecimiento económico y social se vuelve evidente en el contexto de la I4.0. Países que apuestan por estrategias de desarrollo basadas en la innovación logran incorporarse de manera más eficiente en el mercado global.

En este sentido, la capacitación y el desarrollo de habilidades digitales emergen como pilares fundamentales para hacer frente a los desafíos que implica la I4.0. La actualización constante de las competencias laborales, la promoción de la educación en tecnología y la adaptabilidad a los cambios tecnológicos se convierten en imperativos para garantizar la empleabilidad y la inclusión en una economía cada vez más digitalizada.

La colaboración entre gobiernos, empresas, instituciones educativas y la sociedad civil se presenta como un elemento clave para impulsar un desarrollo tecnológico inclusivo y sostenible. La creación de políticas públicas que fomenten la innovación, la protección de datos y la formación continua, así como la promoción de alianzas estratégicas entre los diferentes actores, son esenciales para construir un futuro digital más sostenible.

Aunque habría que aceptar a la tecnología bajo el principio de la precaución, la mayoría de la tecnología se presenta como necesaria y beneficiosa, de ahí que llegue a tomarse por algunos grupos de la sociedad civil organizada, muchas veces surgidos del grupo hacedor de trabajo intelectual, para utilizarla en favor de la resolución de algunos problemas sociales. La tecnología que se desarrolla a partir del sector propietario, pero también tiene

cierta apropiación dentro de los sectores menos favorecidas, aunque del mismo modo implica una conciencia impuesta al respecto de la tecnología como un valor necesario. La realidad es que el ser humano está inmerso en el desarrollo tecnológico y no puede concebir las relaciones sociales fuera de ella.

La I4.0 representa un cambio de paradigma que nos desafía a repensar la forma en que interactuamos con la tecnología y a redefinir las estructuras sociales y económicas. Ante este escenario de transformación acelerada es fundamental adoptar un enfoque que nos permita aprovechar los beneficios de la revolución tecnológica mientras mitigamos sus posibles impactos negativos.



## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS DE POLÍTICA

La noción de políticas públicas comparadas se ha entendido como un enfoque teórico y como una metodología de análisis de los asuntos públicos (Ruiz, 2021). En el presente capítulo, se hace uso de la segunda acepción del término a fin de contrastar elementos propios de algunos programas públicos que surgieron con la finalidad de fortalecer e impulsar el desarrollo de la I4.0. El análisis propuesto lleva a cabo una investigación sobre la génesis de la política pública a partir de la entrada en la agenda, el diseño y formulación de las mismas en los mecanismos de planeación, lo anterior debido a que el propio desarrollo de la I4.0 aún está en proceso de expansión.

Con el objetivo de identificar los componentes asociados a las diferentes estrategias de PDP en el mundo, se hizo una revisión comparativa de programas y estrategias vinculadas al desarrollo y despliegue de la I4.0. Si bien la búsqueda de estrategias referentes al tema fue exhaustiva, el análisis no se realizó de una manera profunda para todas ellas, pues cada una representa un estudio de caso en sí misma. No obstante, se hizo una selección de programas y lineamientos de política con particularidades destacables a fin de obtener variables pertinentes para señalar en apartados posteriores los indicadores que muestren las condiciones en el desarrollo de la I4.0 en entidades federativas y países.

En este capítulo se muestran los casos de PDP escogidos. En una primera parte son expuestas las estrategias destacadas en contextos ajenos al latinoamericano, mientras que, en la segunda, se profundiza en los casos encontrados en la región con una estrategia explícita de impulso a la I4.0. En el primer caso se seleccionaron las experiencias de Alemania, Estados Unidos (EUA), Japón y China debido a las características particulares que presentan: la estrategia alemana por sus características pragmáticas y ser el país que da origen al propio término; el estadounidense por la fuerte vinculación de la iniciativa privada; Japón debido a que considera el componente de incidencia y política social, y China por ser una de las más ambiciosas, implicar cambios sustanciales en comparación a sus PDP previas, y ser uno de los países mejor posicionados en el mercado global. Para la región latinoamericana, aunque son varios los países que, en algún documento, nota de prensa o página web oficial hacen referencia a la I4.0, se encontró que solamente Brasil, Argentina y México tuvieron en algún momento lineamientos de política más profundas que orientaran el desarrollo de la I4.0.

El objetivo del presente apartado es exponer los principales hallazgos encontrados en el análisis de política comparada a partir de la cual, en conjunto con la revisión teórica previa, se proponen una serie de indicadores y variables que sirvan para señalar las condiciones de los países para hacer frente a la alta tecnologización de los sectores productivos. Lo anterior tomando como base las categorías propuestas por Dini como pilares de las PDP.

### 3.1 EVALUACIÓN COMPARATIVA. VARIABLES DISTINTIVAS

#### 3.1.1 ALEMANIA

Como se ha mencionado, el concepto I4.0 surge como una estrategia de PDP planteada por el gobierno alemán derivada de su preocupación por los desafíos que las nuevas TIC, y la automatización representaban para los modelos de manufactura que guiaban la producción del país, en especial en lo tocante a las empresas manufactureras pequeñas y medianas (Kuo et al., 2019). El principal interés era el fortalecimiento tecnológico y el mantenimiento de la competitividad (Acatech, 2013b; Knutov & Styrin, 2020).

La estrategia se lanzó en el año 2011 con un presupuesto inicial de poco más de 36 mil millones de dólares de financiamiento mixto con contribuciones públicas, de instituciones académicas y universidades, así como de agencias especializadas en el desarrollo tecnológico (Volpe Rodrigues et al., 2020). Entre los actores que participaron en el diseño del programa I4.0 destaca la Academia Alemana de Ingeniería, la Asociación Fraunhofer y Simmens, empresa que sobresale por liderar buena parte del mercado de sistemas ciberfísicos (ver tabla 2.1). El programa fue dirigido por el Ministerio de Educación e Investigación y el Ministerio de Economía y Tecnología, este último incluyó a la I4.0 como un proyecto de investigación y educación para el 2020 (Kuo et al., 2019).

La coordinación entre diversos actores fue fundamental para su desarrollo. Entre ellos, instancias vinculadas a la investigación en la industria, mismos que se involucraron en el diseño y planeación de proyectos sobre áreas de investigación particulares (Kuo et al., 2019). Del mismo modo, se incluyó en el diseño a consultores externos de varias agencias especializadas en las temáticas específicas como la Asociación Alemana de Ingeniería Industrial (Kuo et al., 2019).

Para 2019 Alemania contaba con 69 institutos de innovación para la manufactura avanzada y ese mismo año anunció la Estrategia Nacional Industrial para 2030 en la que el

gobierno reformaba la Ley de subsidio y competencia permitiendo subsidios de tiempo limitado y la fusión de compañías en sectores en los que tener un gran tamaño resulta necesario para obtener amplios beneficios a escala global (NIST, 2019). Esto último resulta de particular interés debido a que cláusulas esta promueven y facilitan la creación de monopolios. Lo anterior corrobora lo revisado en capítulos previos en los que se señalaba la tendencia monopólica de las compañías tecnológicas. Mas aun, la política implementada por el gobierno alemán, no sólo va en contra de uno de los problemas que se han buscado solucionar desde las políticas de regulación y competencia, es decir, la existencia de monopolios, sino que incluso los promueve con tal de asegurar cierto posicionamiento del país en el mercado mundial-

El proyecto de Industrie 4.0 se ha basado en el establecimiento de líneas de acción con un alto componente en I+D para incorporar la tecnología en los procesos industriales, con especial interés en CPS e IoT (Volpe Rodrigues et al., 2020). Del mismo modo, el gobierno de Alemania considero que el país era poco competitivo en lo referente a la creación de software y a las tecnologías vinculadas con IoT, por lo que se establecieron importantes líneas estratégicas vinculada al mejoramiento de estas áreas de oportunidad (Kuo et al. 6). Además del plan estratégico, la I4.0 se incluyó como uno de los diez proyectos para el futuro en la Estrategia Alemana de Alta Tecnología 2020, instrumento de política transversal de innovación y cuyo presupuesto alcanzó los 200 millones de euros (Comisión Europea, 2018; Kuo et al., 2019).

Durante los primeros años de la implementación de la estrategia se logró reducir la segregación de la industria en lo referente a acceso a la tecnología, así como una transformación hacia una agenda de investigación con orientación práctica y de vinculación con los actores económicos a partir de una plataforma de interacción (European Commission, 2017) siendo esta última uno de los principales resultados de la estrategia impulsada por el gobierno alemán.

La llamada Plataforma Industrie 4.0 funciona como un espacio de interacción entre investigadores, empresas y gobierno. Al día de hoy cuenta con más de 350 actores vinculados y con seis grupos de trabajo de expertos enfocados en generar recomendaciones y líneas de acción orientadas al desarrollo industrial (BMWK, 2023). Esta plataforma también está desarrollando un centro de datos y cuenta con un hub de innovación, GAIA-X. Asimismo,

en la plataforma cuenta con un área encargadas de identificar los retos legales que la tecnología implica, particularmente en lo que toca a IA y *blockchain* (BMWK, 2023).

Se destacan los resultados prácticos de las estrategia de política implementadas por el gobierno alemán; es posible consultar más de 400 casos que ejemplifican el proceso de transformación digital e incorporación tecnológica en áreas como manufactura, educación o logística de pequeñas y medianas empresas, muchas de las cuales han mejorado su productividad a través de modelos basados en datos (BMWK, 2023).

Por otro lado, es importante mencionar que siendo la conservación ecológica y el medio ambiente uno de los principales temas de la agenda global, desde la estrategia alemana también se ha creado la plataforma Taskforce, una especializada en la sustentabilidad de la industria, misma que en 2020 publicó un documento en el que se revisan más de 60 compañías que ejemplifican las *tres rutas* para un desarrollo industrial sustentable: 1) la reducción del consumo, y el aumento de resultados productivos mediante la manufactura digital, el uso eficiente de recursos y la neutralidad de carbono<sup>7</sup>; 2) pasar de la producción masiva y uso de productos a la utilización de servicios digitales, y 3) promover la economía circular (BMW, 2020). Sin embargo, dentro de los casos prácticos derivados de la plataforma Industrie 4.0, solo aparece uno ligado a ecología y sustentabilidad, mismo que versa sobre el uso de IA para detectar partes industriales que puedan ser reparadas o remanufacturadas (BMWK, 2023a). Lo anterior implica que, pese al análisis hecho, este no se ha traducido en resultados prácticos en la materia de devengan de la propia política de soporte a la I4.0.

### 3.1.2 ESTADOS UNIDOS

El Plan de Manufactura Inteligente (Advance Manufacture Partnerships), fue elaborado por la Smart Manufacturing Leadership Coalition en 2011; incorpora una serie de acciones y recomendaciones orientadas a la inversión en tecnología avanzada, haciendo hincapié en la conexión total a través del IoT (Porter & Heppelmann, 2014; Volpe Rodrigues et al., 2020).

---

<sup>7</sup> Implica que sea retirado de la atmósfera el mismo número de emisiones de dióxido de carbono que el que se emite (Parlamento Europeo, 2019).

Este plan derivó del reporte que hizo al Consejo de Consultores de Ciencia y Tecnología de Presidencia sobre el posicionamiento del país en lo referente a la manufactura avanzada a fin de asegurar el liderazgo del país en la materia; este plan estuvo bajo la supervisión del mencionado Consejo y su misión era convocar a una cooperación entre el gobierno, la industria y la academia a fin de identificar cuáles eran los desafíos y las oportunidades para estimular los procesos tecnológicos en las industrias manufactureras (Álvarez Medina, 2022; Kuo et al., 2019).

En dicho documento se argumenta que, pese a la relevancia de los EUA en la producción de manufacturas a nivel mundial, su aportación al PIB ha ido en declive en las últimas décadas (PCAST, 2011). Además, el proceso de manufactura en sí mismo va generando conocimiento que potencialmente podría perderse si la manufactura se lleva a cabo en otros espacios (PCAST, 2011). Además de lo anterior, deslocalizar la manufactura hacia los grandes mercados de consumo en centros poblacionales neurálgicos generaría una importante ganancia comercial (Ford, 2016). Del mismo modo, la Fundación Nacional de Ciencia argumentaba que el 70% de la innovación y desarrollo del país ocurría en la industria, en la cual trabajan más del 60% de los científicos, no obstante, la deslocalización de los procesos productivos había ocasionado que la mayor parte de esta capacidad innovativa se perdiera (Álvarez Medina, 2022).

En el reporte realizado por el Consejo se hicieron varias recomendaciones englobadas en tres categorías: la habilitación de la innovación, garantizar el flujo de talento y mejorar las condiciones del entorno empresarial (Álvarez Medina, 2022; Kuo et al., 2019). A la par, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos fórmula un plan similar, el Plan para el Desarrollo de la Manufactura Avanzada que también propone la participación de distintos actores del gobierno, la academia y la industria (Kuo et al. 6).

En consecuencia, entre 2012 y 2015 la Presidencia del EUA promovió la creación de varios institutos de innovación manufacturera. Es de destacar que varias veces se ha argumentado que el control y posicionamiento sobre la tecnología descansa en asuntos de seguridad nacional, aunado a que la manufactura avanzada se convierte en la base del suministro de diferentes tecnologías como la cibernética, la industria aeroespacial, nuclear, entre otras que son de especial importancia para la Secretaría de Defensa (Álvarez Medina, 2022 ) por lo que esta agencia ha sido uno de los principales agentes de impulso a los

institutos de innovación, aunque las fuentes de financiamiento proviene de diversas agencias públicas, como el Departamento de Energía, y también de instancias privadas. (Kuo et al., 2019).

Para 2013, el presidente Obama planteó la creación de una Red Nacional para la Innovación Manufacturera y solicitó mil millones de dólares de fondos obligatorios para apoyar a la creación de hasta 15 institutos de innovación, cifras que se incrementaron en tan solo dos años: para 2015 se solicitaron 2.4 mil millones de dólares para generar 54 institutos (Álvarez Medina, 2022).

En 2014 el Senado de este país lanza una nueva versión del plan original promoviendo la innovación desde proyectos establecidos por las empresas y conglomerados en telecomunicaciones y tecnología, como IBM y CISCO, líderes en la comercialización de varias de las tecnologías que componen a la I4.0 (ver tabla 2.1), creando así el Consorcio de Internet Industrial (IIC, por sus siglas en inglés) (Volpe Rodrigues et al., 2020). Ese mismo año, el congreso del país aprobó el Acta para Revitalizar la Manufactura y la Innovación Americanas (Ley RAMI, por sus siglas en inglés); esta exhorta a la Secretaría de Comercio de los Estados Unidos a instituir el Programa de Red de Innovación de Manufactura (NNMI) cuyo objetivo es coordinar la inversión pública y privada a fin de mejorar la competitividad y productividad de las empresas manufactureras del país (Kuo et al., 2019).

Dos años después, en 2016, la Secretaría de Comercio desarrolló el programa de innovación al que se le nombró Manufacturing USA (Sargent, 2022). Uno de sus objetivos principales era la creación de institutos de investigación en manufactura cuya finalidad es generar proyectos de I+D para disminuir los costos de comercialización de las tecnologías y mejorar los procesos derivados de ellas, al tiempo que resuelven problemas de las dinámicas industriales (Álvarez Medina, 2022). Estos institutos generarían innovaciones de integración para la cadena de valor y podrían en marcha programas educativos y de capacitación acordes a las necesidades de la industria de manufactura avanzada (Álvarez Medina, 2022). De inicio de anexaron al programa cuatro institutos que ya operaban, y en los seis años posteriores se incorporaron 12 de nueva creación (Sargent, 2022).

El programa estipula que es necesaria la integración de una red con grupos interesados que participen en la consecución de los objetivos (Sargent, 2022). En este sentido, destaca que el presupuesto para el programa fue creciendo conforme se incorporaban participantes a

la red incluidos consorcios integrados por miembros de la industria quienes tendrían la capacidad de establecer sus propias líneas prioritarias: para el periodo a transcurrir entre 2015 y 2025, el financiamiento Federal para 16 institutos aumentó a 1,194 millones de dólares de fondos federales más 2,408 millones de financiamiento proveniente de organizaciones no gubernamentales, mayormente de la iniciativa privada (Sargent, 2022).

Es importante mencionar que el Subcomité de Manufactura Avanzada (SAM, por sus siglas en inglés), como parte de NSCT, funge como agencia encargada de coordinar las inversiones y de supervisar los institutos creados por el programa de Manufacturing USA. En 2018 hizo una evaluación de la situación del plan diseñado enfatizando tres objetivos: 1) transitar hacia nuevas tecnologías de manufactura; 2) educar, capacitar y conectar a la fuerza laboral con el sector de fabricación, y 3) ampliar las capacidades de la cadena de suministro de la manufactura nacional (SAM, 2018).

El reporte en cuestión señala los resultados obtenidos desde la implementación de los planes estratégico de 2012 creados a raíz del reporte a presidencia. Entre lo más destacado se señala la existencia de los diversos institutos para la innovación creados, no sólo los derivados del Manufacturing USA, sino de programas previos en pro de la tecnologización como los centros MEP<sup>8</sup>, que se incorporan a los institutos creados a partir de Manufacturing USA y cuyo personal se encarga de vincular la tecnología desarrollada en dichos centros con empresas, especialmente MiPymes, a fin de proveer de soluciones de alta tecnología a sus necesidades y problemas (SAM, 2018). Estos centros están distribuidos en todos los estados país y ofrecen asesorías comerciales y de servicios técnicos de acuerdo al caso (Álvarez Medina, 2022).

Uno de los resultados más importantes de las estrategias de política para el impulso de la I4.0 de EUA ha sido la consolidación de alianzas y la cooperación de triple hélice. De manera efectiva se han creado espacios de colaboración que propician una alta transferencia tecnológica desde la academia hacia empresas de diferentes tamaños y áreas productivas. Es importante señalar que, de acuerdo al reporte de resultados del SAM, por medio de esta vinculación y de la existencia de los institutos de innovación ha sido posible disminuir los

---

<sup>8</sup> El Programa de Asociación de Extensión de Manufatcura (MEP, por sus siglas en inglés) se creó en 1988 y es considerado como uno de los más exitosos de EUA y su objetivo principal era la difusión de la tecnología y procesos innovadores de manufactura (Álvarez Medina, 2022)

potenciales riesgos de las nuevas tecnologías, sobre todo en lo que toca a cuestiones de seguridad de los datos (SAM, 2018).

Del mismo modo, se incentivó la especialización del factor humano siendo la Secretaría de Educación quien focaliza esfuerzos en la currícula STEM de primaria y secundaria, mientras que la Secretaría del Trabajo se concentra en la capacitación a nivel laboral a través de certificaciones técnicas (SAM, 2018). Cabe mencionar que otras agencias del gobierno estadounidense, como la NASA y la Fundación Nacional de Ciencia también han consolidado programas de formación educativa en materias estas áreas, mientras que los institutos de innovación han llevado a cabo campañas de propaganda para convencer a las juventudes de inscribirse en carreras relacionadas con industrias de alta tecnología (SAM, 2018).

Otro punto importante derivado de los esfuerzos de PDP de los EUA ha sido la optimización de la inversión del gobierno federal evitando la duplicidad de actividades entre las diferentes agencias que participan en el plan Manufacturing USA (SAM, 2018). Aunado a lo anterior, también se señala el aumento de las inversiones en tecnología de manufactura avanzada incentivadas en gran medida por los programas de la Secretaría de Defensa (SAM, 2018).

En este sentido, en 2020 la Ley de Autorización de Defensa Nacional señaló que el secretario de defensa y los directores de los distintos laboratorios e institutos han de establecer un programa de tecnología de manufactura para promover la seguridad nacional (Álvarez Medina, 2022). Lo anterior implica la búsqueda de talento digital, mantener el desarrollo de software y la experiencia digital como competencias centrales de los trabajadores tanto civiles como militares (Álvarez Medina, 2022). También se autorizó que la Secretaría de Comercio otorgue subvenciones para el desarrollo de esta fuerza laboral entre pequeños y medianas empresas (Álvarez Medina, 2022).

En este mismo año, ya existían 16 institutos enfocados en la generación de manufactura avanzada que recibían más de 600 millones de dólares de gobierno y mil 300 millones de dólares de inversiones de agencias no gubernamentales (Álvarez Medina, 2022). El incremento de la fuerza laboral especializada y el apoyo a modelos de negocios con la creación de estos institutos ha contribuido a resolver problemáticas como la coordinación y creación de estándares técnicos de información, a la vez que incentivado la formación de



rutas de acción y rutas tecnológicas a las que las empresas y los propios institutos puedan remitirse para saber en dónde invertir de acuerdo a sus propias necesidades (Deloitte, 2017). Otro de los efectos del Manufacturing USA y planes vinculados<sup>9</sup> es que se ha reducido el costo de investigación y desarrollo al compartir equipos, materiales y personal capacitado promoviendo el intercambio de conocimientos bajo la figura de consorcios innovativos (Deloitte, 2017). Asimismo, la Red creada desde el gobierno de Obama ha permitido reducir la brecha entre la investigación y la comercialización, es decir, se ha dinamizado la relación entre la academia y el sector empresarial (Deloitte, 2017).

### 3.1.3 JAPÓN

En 2013 el gobierno japonés lanzó un plan de revitalización industrial cuyo fin era mejorar el entorno empresarial cuyo objetivo era el impulso al desarrollo productivo del país, empero, en 2015, a través del V Plan Básico de Ciencia y Tecnología, da a conocer el concepto de “Sociedad 5.0” el cual plantea lineamientos para el despliegue de sistemas, comunidades e infraestructura inteligentes (Volpe Rodrigues et al., 2020). Esta perspectiva se diferencia de otras en que no sólo considera aquellos procesos o especificaciones vinculados a la cadena de suministro y logística de producción, sino también incluye estrategias tecnológicas para áreas de política social como el cuidado de la salud (Gobierno de Japón, 2021).

El objetivo principal de Sociedad 5.0 es fundamentar las relaciones sociales en sistemas ciberfísicos y la gestión de grandes cúmulos de información almacenada en la nube y obtenida por medio de sensores dispuestos en diversos espacios físicos (Oficina del Gabinete, 2020). Se afirma que serán algoritmos de IA los que procesen el *big data* generado, al tiempo que se prevé que las personas puedan obtener retroalimentación de esta información abonando así a la resolución de problemas sociales (Gobierno de Japón, 2019). La propuesta en general es establecer una interconexión entre personas, cosas y sistemas, característica

---

<sup>9</sup> Como se ha visto, la pérdida de ganancias comerciales, de expertise técnico y de posicionamiento en el mercado mundial de manufacturas aunado al exacerbado avance tecnológico de la época actual obligaron a EUA a una ardua modificación de regulaciones, programas y planes de política, y formas de financiamiento a fin de impulsar la manufactura avanzada (Álvarez Medina, 2022). En este sentido, El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología reportaba 55 programas en la materia gestionados principalmente por tres secretarías: la de Comercio, la de Defensa y la de Energía, a la par de otros impulsados por otras agencias como la FDA, la NASA y la Secretaría de Agricultura (Álvarez Medina, 2022).

fundamental de la I4.0, para potencializar las capacidades humanas y del espacio mismo (Oficina del Gabinete, 2020).

La orientación del concepto se centra mayormente en el desarrollo de ciudades inteligentes y el crecimiento económico e industrial, sin dejar de lado objetivos puntuales en lo que respecta a problemas de carácter social: de acuerdo al gobierno japonés, se espera que la implementación de Sociedad 5.0 contribuya no sólo al desarrollo económico, sino también a la reducción de brechas de desigualdad social (Oficina del Gabinete, 2020). La tecnologización de la industria y el uso de sensores en los servicios y el espacio públicos adaptarán el entorno físico a uno ciberfísico que será capaz de ajustar la implementación de políticas públicas y resolver problemas sociales de manera más eficiente (Oficina del Gabinete, 2020).

Sí bien los objetivos del concepto de Sociedad 5.0 principalmente buscan el fortalecimiento de la industria y la revitalización de la misma, este también plantea la adaptación de la estructura tecnológica de la I4.0 a la función estatal, es decir, a que el propio Estado funcione a partir de tecnologías disruptivas como el *big data*, la IoT y la IA. El gobierno de Japón sostiene que es la sociedad y las personas las que están en el centro de este programa de innovación y profunda tecnologización. Es de destacar que el V Plan considera el envejecimiento de la población y una disminución en la población, pero considera que si bien habrá menos personas dentro de la fuerza productiva, estas serán *más inteligentes* dado que se propone la creación de una sociedad orientada hacia la adquisición y procesamiento de grandes volúmenes de datos (Gobierno de Japón, 2019)

Más que un plan estratégico Sociedad 5.0 refiere a una perspectiva globalizadora del uso de la alta tecnología para conseguir objetivos que vayan más allá de la producción y la ganancia económica; el concepto refiere a una sociedad sustentable y resiliente cuya seguridad esté garantizada, es decir, prevé el uso de la tecnología para incrementar el bienestar de los ciudadanos japoneses (Oficina del Gabinete, 2022).

En 2021 el gobierno nipón aprueba VI Plan Básico de Ciencia y Tecnología. De acuerdo al diagnóstico realizado en este, Japón había tenido un declive en la capacidad innovativa y su competitividad mundial estaba estancada. La estrategia planteada en el nuevo plan considera un incremento del financiamiento público y privado en sectores de I+D de alrededor de 120 trillones de yenes (Gobierno de gabinete, 2022). Con este incremento, se

busca el fortalecimiento a la generación de capital humanos capacitados en materias STEM, además de reducir la brecha de género en estas áreas, siendo uno de los únicos países que puntualiza el hecho dentro de su PDP (Gobierno de gabinete, 2022).

Entre sus objetivos prioritarios está el impulso a las Startups y la promoción de fondos para generar ecosistemas innovativos entre la clase trabajadora lo cual se traduce en apoyo a las Mipymes. Del mismo modo, se mantiene la perspectiva de mejorar las ciudades por medio del desarrollo de las ciudades inteligentes (Gobierno de gabinete, 2022). Asimismo, el nuevo plan pretende promover las estrategias de CyT que respondan a situaciones críticas de problemas nacionales siendo las tecnologías prioritarias para este fin la IA, la biotecnología, y la tecnología cuántica y de materiales (Gobierno de gabinete, 2022).

#### 3.1.4 CHINA

En 2015, el gobierno chino lanzó un programa nacional a 10 años cuya finalidad es la transformación del sector manufacturero a uno completamente digitalizado y conectado. La estrategia Made in China 2025 tiene objetivos y metas específicas relacionadas con el incremento de la innovación manufacturera y la promoción del uso de tecnologías disruptivas en el proceso de industrialización; se busca apoyar a tecnologización de la industrias por medio de subsidios, beneficios fiscales y protección de la competencia (Liu et al., 2022; Yang et al., 2019). La intención del estado chino es que para 2025 todas las empresas manufacturas funciones con tecnologías disruptivas de la I4.0 (Yang et al., 2019) y para 2040 ser el país dominante en el mercado tecnológico global (Liu et al., 2022). La diferencia fundamental entre esta estrategia de política en comparación con algunas otras del propio país asiático, es que Made in China tiene como meta principal competir en industrias intensivas en capital y alta tecnología, y no establecer ventajas comparativas en sectores que son intensivos en cuanto a mano de obra (Liu et al., 2022).

El programa prioriza el impulso a algunos sectores específicos; todos ellos considerados de alta tecnologías. Algunos de estos son: el control de maquinaria por IA, la robótica, tecnologías de información, así como la industria aeronáutica y de aviación. Cabe destacar que el plan es uno de los pocos que plantea estrategias específicas para potencializar

el uso de la economía basada en internet, y no únicamente en digitalizar la manufactura (Yang et al., 2019).

El plan propone tres pasos estratégicos. El primero consiste en fortalecer las capacidades tecnológicas de sus industrias y establecer un proceso de digitalización de la manufactura para hacerla más conectada y con un mayor sustento en SIA (Kuo et al., 2019; Yang et al., 2019). Una vez llevado a cabo lo anterior, se busca que para 2035 China tenga considerables ventajas competitivas frente a centros manufactureros más desarrollados. Por último, se pretende que en 2045 el país asiático se vuelva el líder mundial en sistemas industriales y tecnológicos (Kuo et al., 2019; Yang et al., 2019).

La intención última del gobierno chino es lograr una completa integración de todo el proceso industrial disminuyendo lo más posible tiempos y distancias entre las empresas y los procesos de la cadena de valor; consecuencias últimas del despliegue del I4.0. Entre las estrategias vinculadas a este fin está el establecimiento de 40 institutos dedicados a la innovación tecnológica para 2025, consolidando poco más de la mitad en el año 2021 (NIST, 2019; Sargent, 2022).

No obstante, a pesar de que los objetivos de la estrategia son muy consistentes con las metas que busca la I4.0, algunos autores sostienen que las medidas tomadas van más en el sentido de incrementar la cantidad de producto manufacturado y no necesariamente en función de generar ventajas cualitativas de China frente al mercado global (Kuo et al., 2019). Sin embargo, esto ha sido así en lo que toca a las PDP previas del país y es así como hasta ahora se han desarrollado los procesos productivos de China, más justamente los esfuerzos de Made in China van focalizados tanto en la digitalización y conectividad de las empresas del país, como en su posicionamiento global (Yanhong & Yuzhen, 2020). Como consecuencia de los anteriores, países como EUA y Alemania han adecuado sus estrategias de política para el fortalecimiento de sus empresas en función de las acciones tomadas por el país asiático (Bremmer, 2021; Moret Millás, 2019; NIST, 2019).

De acuerdo a algunas fuentes, China representa más del 40% del comercio económico global en contraste con el 1% de hace 10 años. Asimismo, vende la mitad de los vehículos eléctricos en el mundo y domina la producción de baterías controlando el 60% de litio mundial (Lopátegui, 2022). Datos de Ortega (2019) señalan que este es el país que produce

más ingenieros en el mundo y para 2017 ya presentaba el doble de patentes para su registro que Estados Unidos.

Por otro lado, en los distintos rankings que posicionan a las principales empresas tecnológicas en el mundo, generalmente encontramos a Tencent Holdings y a Alibaba dentro de los primeros lugares, acompañadas en mayor medida de empresas estadounidenses como Apple, Microsoft y Alphabet, entre otras (Kurban, 2023; Protska, 2023). Lo anterior podría indicar que EUA sigue siendo el país principal en la provisión de servicios y productos tecnológicos. No obstante, en el despliegue de las redes 5G China ha consolidado ciertas ventajas competitivas: de 2017 a 2020 Huawei ha sido la empresa que lidera los contratos comerciales en la materia (Lopátegui, 2022), además de ser una de los cinco principales fabricantes de *smart cells*<sup>10</sup> en el mundo, junto a la también china ZTE<sup>11</sup> (Moret Millás, 2019).

### 3.1.5 PRINCIPALES HALLAZGOS: VARIABLES DISTINTIVAS

En los apartados anteriores se revisó a grandes rasgos el diseño de las estrategias de PDP establecidas por Alemania, EUA, Japón y China a fin de desarrollar la I4.0. De acuerdo al conocido ciclo de políticas públicas, se asume que para su diseño es preciso reconocer cual es el problema público que se está abordando. En este sentido, el problema que aparece como detonador de los programas sobre I4.0 es la potencial falta o la pérdida de competitividad industrial de los países en un entorno cada vez más tecnologizado.

En la literatura se ha señalado que uno de los principales elementos para el eficaz funcionamiento de una política de tecnología e innovación como base de la PDP es la reafirmación de objetivos específicos para su implementación (y el desarrollo de las industrias) esté basado en los principios de ambición; *accountability*, y la adaptabilidad (Cherif et al., 2016). Es claro que los objetivos básicos de estas propuestas hacen referencia al incremento en la productividad de las empresas manufactureras por medio de la capacidad tecnológica de las mismas. El objetivo original en las cuatro estaba vinculado al incremento

---

<sup>10</sup> Para soportar el tráfico de datos será requerida la instalación de este tipo de celdas cada 100 metros aproximadamente (Moret Millás, 2019). Estas celdas son nodos intermedios en redes de acceso de banda ancha fija que permiten minimizar la saturación en redes móviles (Bertolini, 2020; Rodríguez, 2014)

<sup>11</sup> Las otras tres empresas más importantes en este mercado son: Nokia (Finlandia), Ericsson (Suecia) y Samsung (Corea del Sur)

de la competitividad industrial y dicho objetivo permaneció inmutable en tres de los cuatro planes estudiados, aunque el caso de Japón es destacable ya que dos años después de la estrategia original, vinculó los objetivos de la PDP y de impulso a las ciudades inteligentes a una política social más efectiva.

Del mismo modo, los casos hasta aquí revisados apuntan hacia el uso de la tecnología en los procesos de manufactura principalmente en pequeñas y medianas empresas. Aunado a esto, otro factor importante ha sido el componente educativo muy destacado en las políticas de EUA ya que cubre diferentes aspectos y estrategias para generar interés y participación de la ciudadanía en materias vinculadas a la CyT. En contraste, el gobierno alemán centra sus esfuerzos en la CyT, más no tanto en la creación y mantenimiento de talento. El plan japonés de 2015 aboga por la creación de un mercado que refleje las necesidades sociales conociéndolas a través de la gestión de información; los esfuerzos de Japón se orientaban a la adquisición de datos y lo que se puede hacer con su procesamiento, no obstante, para el plan aprobado en 2021 vimos que el componente educativo y de capacitación cobra mayor fuerza.

Por su parte, los actores involucrados son relativamente similares en cada uno de los casos. En los planes alemán y estadounidense vemos un gran abanico de participante que intervienen a profundidad en el diseño de las propuestas. En el primer caso, el componente de agencias de expertos en áreas específicas es fundamental y retrata la intención de fortalecer la parte material de la ecuación, es decir, la maquinaria y el software. En el caso de EUA es notoria la gran influencia de la iniciativa privada particularmente de IBM y Cisco que, como se vio en capítulos previos, dominan el mercado de varias de las tecnologías disruptivas que componen a la I4.0. En los planes presentados por el gobierno chino y el japonés, por mucho, el principal actor involucrado es el Estado representado por medio de sus distintas instancias y organizaciones.

En relación al párrafo anterior, es destacable que para Alemania y de EUA hay un fuerte componente de impulso a la vinculación entre los tres agentes de la triple hélice: la academia, las empresas y el gobierno. El resultado de sus estrategias de innovación y tecnologización para la industria se ha dado en buena medida porque la PDP propició la creación de plataformas vinculantes entre actores de la ciencia y aquellos relacionados con

el desarrollo productivo. De esta forma, los hallazgos y los resultados derivados de la investigación en tecnología se vinculan de forma práctica con las necesidades empresariales.

Una situación distinta ocurre para los casos de los dos países asiáticos. En estos pareciese que prácticamente todo recae en la gestión del Estado y que se resta importancia a la vinculación entre empresas y academia, más en lo tocante al caso chino. Aunado a lo anterior, en lo que puede apreciarse del caso japonés, su política está muy orientada al desarrollo de ciudades inteligentes y dentro de esta se prevén estrategias que procuren el desarrollo industrial, a decir, en términos de Rothwell & Zegveld (1981) su PDP está más orientada hacia la demanda; hacia la creación de servicios y un entorno que favorezca el desarrollo productivo.

Por su parte, entre los casos revisados hay diferencias notorias en cuanto al presupuesto se refiere tanto en los montos, como en el origen de los fondos. En cuanto a lo primero, los importes son muy dispares para cada uno de los casos estudiados. Hasta 2020, tan solo la inversión hecha por los Estados Unidos casi duplica la suma de los montos originales destinados para I4.0 en los otros tres países, más aún, en 2022 la inversión de este país para I+D con destino industrial superaba los dos mil millones de dólares. En lo tocante al origen de los fondos, tanto para Alemania como para los Estados Unidos, los recursos destinados a los programas revisados provenían de fuentes mixtas, esto es, de recursos públicos y privados de distintos organismos. Para los casos de Japón y China, la responsabilidad financiera recae principalmente en el Estado. Cabe señalar que para Alemania y EUA el presupuesto asignado incorporó programas transversales: para el primero el tema de la I4.0 se incorpora en la Estrategia Alemana de Alta Tecnología, mientras que EUA a la fecha cuenta con más de 50 programas relacionados al desarrollo tecnológico de las empresas, mismos que son gestionados por diversas instancias públicas (Álvarez Medina, 2022).

Como se mencionó en un inicio, una de las características fundamentales de la I4.0 es la conectividad entre personas, objetos y ambiente. En este sentido, destacan el IoT y el *big data* como áreas prioritarias. En el caso de los Estados Unidos el eje que da forma a la estrategia planteada es el incremento de la conectividad entre objetos. Del mismo modo, Japón concentra sus esfuerzos en la disposición de sensores que generen *big data* para que ser procesado por inteligencia artificial a fin de eficientizar la cadena de valor y resolver

problemas sociales; el país asiático también supone el fortalecimiento de los sistemas ciberfísicos como parte central del plan Sociedad 5.0. En los casos alemán, el componente de investigación y desarrollo de proyectos está presente, aunque se explicita el interés en fortalecer la generación de software. El plan de China no precisa una tecnología en sí, más focaliza sobre sectores estratégicos considerados de alta tecnología y enfatiza el uso nuevos modelos de negocio basados en Internet.

En cuanto a los resultados de las estrategias revisadas, se resumen en el aumento de la competitividad entre empresas y de sus países en el mercado global, así como en una mayor vinculación de la academia y los investigadores con las empresas, cosa a destacar para los casos de EUA y Alemania. No obstante, en el caso de Japón, uno de los resultados esperados del plan Sociedad 5.0 es alcanzar un equilibrio entre el crecimiento y los beneficios sociales, es decir, que el uso de las tecnologías disruptivas propias de la I4.0 no sólo incremente la ganancia de las empresas e industrias, sino que también contribuya a disminuir la diferenciación social por medio de un procesamiento mejorado de análisis de *big data* (Oficina del Gabinete, 2020), lo cual marca la diferencia más notoria en comparación con el resto de las estrategias de política revisada.

Es de destacar que la indudablemente la carrera hacia el posicionamiento global en lo referente a I4.0 e empresas tecnológicas sigue encabezada por los EUA y China. Para 2019 China y Estados Unidos controlaban el 90% de las 70 principales plataformas digitales y tenían posesión del 78% de las patentes en IA y más el 75% de tecnología *blockchain* (UNCTAD, 2019). Del mismo modo, ambos países representaban la mitad del gasto global en IoT y el 75% del mercado de cómputo en la nube (UNCTAD, 2019).

En la mayoría de los casos revisados, vemos que la política pública se enfoca únicamente en la parte técnica del tema, es decir, se dejan de lado las repercusiones sociales, riesgos al medio ambiente o legislaciones laborales, ámbitos que se verían afectados de manera directa por los nuevos procesos de producción. Si bien el plan japonés plantea dentro de sus objetivos la disminución de las brechas de desigualdad social, el objetivo principal del programa sigue siendo el aumento de la productividad y el ingreso económico.

Sin embargo, aunque la política del Japón pareciese más cercana a una política social que a una política industrial, las principales estrategias para llevar a cabo estos objetivos radican en el incremento de la productividad, el fortalecimiento de las leyes, la regulación



económica, generar oportunidades de inversión e incrementar la competitividad de los negocios (Gobierno de Japón, 2019), es decir, a pesar de la intención social del programa japonés, los beneficios obtenidos del mismo se traducen en un beneficio para las empresas y las industrias

### 3.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA. AMÉRICA LATINA

Considerando el fuerte aspecto innovativo y su origen como facilitador de la productividad, es de suponer que las estrategias de política más importantes sobre el tema se hayan dado en países con altos niveles de tecnologización, una larga historia en políticas de I+D, o una posición privilegiada en el mercado global. Así, los casos de Alemania, EUA, Japón y China destacan como algunos de los principales exponentes de estrategias de política para impulsar la I4.0 (Volpe Rodrigues et al., 2020). Pese a ello, la región latinoamericana cuya tendencia es más a la transferencia tecnológica que a la generación de innovaciones, también ha incorporado dentro de la agenda de sus gobiernos planes de acción que permitan el impulso de la I4.0. En este sentido, en esta sección se lleva a cabo una revisión comparada de las tres estrategias gubernamentales generadas en países de América Latina para impulsar el desarrollo de la I4.0 con la intención de encontrar similitudes, diferencias y potencialidades entre sus ámbitos de acción, estrategias planteadas e impactos esperados.

#### 3.2.1 BRASIL

En 2016 Brasil lanzó el llamado Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial (SENA), mismo que estaba orientaba a promover la adopción de estrategias digitales por parte de las empresas (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020). Esta línea de acción se basó en la propuesta por Acatech, agencia alemana que impulso el plan Industrie 4.0 y que estableció la matriz de indicadores para medir el grado de madurez de las empresas en la búsqueda de una alta tecnologización (Acatech, 2017b).

Fue el siguiente año, en 2017, cuando el país sudamericano da a conocer el programa Más allá de la industria 4.0, el cual vincula los ministerios de la industria, comercio internacional y servicios. El eje principal de este plan fue la adquisición de software (Volpe Rodrigues et al., 2020).

Posteriormente se creó el Plan de Trabajo de la Cámara Brasileña de la Industria 4.0 para el período que 2019 a 2022. Esta organización se compone de distintos grupos de trabajo cuyos miembros pertenecen al sector público, a agencias vinculadas al desarrollo científico y tecnológico, y a las cámaras de la industria. Los grupos de trabajo que el consejo considera son: desarrollo tecnológico, innovación, capital humano, cadenas productivas y desarrollo de proveedores, regulación y normalización, y técnica e infraestructura (Câmara Brasileira da Indústria 4.0, 2020). Este Plan puede definirse como una ruta de acción a seguir a fin de desarrollar sectores productivos altamente tecnologizados ya no únicamente en lo que corresponde al software utilizado, como era el objetivo del SENA, sino que también comprende otros aspectos como la generación propia de tecnología.

### 3.2.1 ARGENTINA

Recién en 2021 el gobierno argentino presentó el Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0 que incluye diversas políticas a implementar bajo la dirección del Ministerio de Desarrollo Productivo. El plan considera como pilares de la I4.0 diferentes tecnologías como los sistemas tecnológicos integrados, el IoT, las máquinas inteligentes, los robots industriales, entre otras (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020). Aquí se define a la I4.0 como paquetes tecnológicos compuestos por las tecnologías mencionadas que tienen incidencias en los procesos productivos, en los modelos de negocios y en los productos en sí mismos. Siguiendo la estrategia española de Industria Conectada; el gobierno argentino señala tres formas de articulación de las tecnologías mencionadas: aquellas destinadas a los CPS; las de comunicación y manejo de información, y los sistemas de gestión e inteligencia (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020).

El objetivo del plan argentino es incrementar la competitividad de las empresas a través de los paquetes tecnológicos mencionados. Cabe señalar que el caso argentino no observa únicamente a las pequeñas y medianas empresas como ocurre casi en todas las estrategias actuales de PDP (Dini, 2022), sin embargo, las prioriza a la par del sector agroindustrial. En cuanto a los objetivos específicos que se mencionan en el plan destaca la gestión de información, la capacitación del personal operativo y gerencial, así como el impulso a la demanda de las tecnologías que comprenden la I4.0 (Ministerio de Desarrollo

Productivo, 2020). En este último punto, llama la atención que uno de los objetivos específicos del plan argentino es sensibilizar a las Mipymes sobre el uso de los paquetes tecnológicos correspondientes a la I4.0, siendo este el único objetivo que sí está focalizado a este tipo de empresas, lo que podría estar evidenciado la reticencia o desconocimiento de este sector sobre el uso de las tecnologías de la I4.0.

### 3.2.3 MÉXICO

La Ruta para la Industria 4.0 en México fueron los lineamientos planteados por el gobierno mexicano a fin de fortalecer la dinámica de innovación industrial del país. Entre las estrategias que dicho plan consideraba estaba la creación de clústeres empresariales y consorcios consonantes a las actividades económicas de cada una de las regiones productivas del México, en particular aquellas vinculadas a las industrias aeroespacial, automotriz y química (SE, 2016b). El programa establecía siete ejes transversales: IoT, *big data*, simulación de procesos, inteligencia artificial, robótica, ciberseguridad y realidad aumentada fungían como elementos definitorios de la I4.0 (SE, 2016b).

Aunado a lo anterior, la ruta planteada suponía la creación tanto de Centros de Innovación Industrial (CII), los cuales servirían para el asesoramiento y consultoría a empresas en consolidación, como el financiamiento público a proyectos particulares a los que tanto persona físicas como morales podían tener acceso (SE, 2016b). El recurso destinado tanto para los CCI como para los proyectos de innovación sería otorgado a través del Programa para el Desarrollo de la Industria de Software y la Innovación (Prosoft), existente desde 2004, pero que a partir de 2016 quedó enmarcado dentro de los esfuerzos para impulsar la I4.0.

El programa Prosoft merece una mención aparte por ser el programa de política pública en México más cercano al establecimiento y gestión de una PDP en pro de la I4.0. La SE era la encargada de gestionar el programa de Desarrollo de la Industria del Software y la Innovación (Prosoft), mismo que se implementó por primera vez en el año 2003 con el nombre de Programa de Desarrollo del Sector de Servicios de Tecnologías de Información, Prosoft 2.0. Como el nombre indica, su objetivo era fortalecer las tecnologías de información (TI) en la industria mexicana para hacerla más competitiva a nivel internacional y asegurar

su crecimiento a largo plazo (Comisión Intersecretarial para el Desarrollo del Gobierno, 2014).

En 2014 se anuncia Prosoft 3.0, Programa para el Desarrollo de la Industria del Software, el cual buscaba, además de la promoción de las TI, fomentar la innovación en sectores productivos. Se establecieron cinco estrategias para tal fin: 1) formar el capital humano especializado en TI; 2) generar investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación; 3) financiar empresas para el desarrollo y la adopción de TI e innovación; 4) generar infraestructura para el desarrollo y adopción de TI e innovación, y 5) generar y difundir conocimiento en materia de TIC e innovación. Cada una de estas estrategias, si bien va dirigida a los considerados sectores estratégicos de México, no limita la inclusión de otras industrias prioritarias para avanzar en el desarrollo económico del país. El programa considera como sectores estratégicos los siguientes:

- Maduros: metal mecánico, textil/vestido y cuero/calzado, madera y muebles, siderúrgico, y alimentos y bebidas.
- Dinámicos: automotriz y autopartes, aeroespacial, eléctrico, electrónico y químico.
- Emergentes: biotecnología, farmacéutico, TIC, industrias creativas, y equipo y dispositivos médicos.
- 

La financiación de Prosoft 3.0 implicó la fusión del Fondos para Impulsar la Innovación (Finnova) con el Programa Prosoft, a fin de impulsar el desarrollo de los sectores e industrias que tuvieran un alto contenido de innovación y aplicaciones de TI (Secretaría de Economía, 2016). Esta partida se conservó para Prosoft 4.0, nombre que se le dio al programa a partir de 2019, sin embargo, para el ejercicio de 2021, este fondo se fusiona con la partida presupuestal del Programa para la Productividad y Competitividad Industrial (Secretaría de Hacienda, 2020). Esta fusión de fondos indicó un deslinde en la generación de políticas públicas puntuales que buscaran apoyar proyectos, empresas o sectores específicos, y en lugar de ellos se agruparon en un paquete conjunto al que se puede acceder siempre y cuando se justifique la consecución de los objetivos del programa.

Así, Prosoft 3.0 se convirtió en Prosoft 4.0 y fugía como el principal instrumento de política para el financiamiento de la I4.0 (SE, 2016a). En Prosoft 4.0, el objetivo es fomentar

la innovación económica a través de la creación y el fortalecimiento de los llamados Centros de Innovación Industrial (CII), así como el impulso a políticas públicas que propicien el desarrollo de *ecosistemas de innovación*: clústeres regionales aglomerados en un espacio físico identificable (parques industriales, tecnológicos, etc.) que respondan a intereses del sector público, pero con actividades orientadas a negocios del sector privado, mismas que se llevan a cabo por medio de actores interdependientes con intereses comunes, que tienen un mismo nicho económico, pertenecen a la misma cadena de valor, y cuyas acciones compartidas pueden aumentar los beneficios de los participantes (Diario Oficial de la Federación, 2019).

A diferencia de fondos como los Fomix y el Fodecyt, el objetivo de Prosoft no va ligado a la disminución de desigualdades competitivas, Prosoft busca contribuir a la vocación económica de cada región y fortalecer las capacidades económicas existentes. Con la creación y fortalecimiento de los CII para la generación de ecosistemas de innovación se pretendía la promoción de la innovación industrial a través de la especialización, tanto de trabajadores como de servicios ofertados basados en las TI (Secretaría de Economía, 2019). De acuerdo a las Reglas de Operación de Prosoft 2019, un CII es un espacio semipúblico, individual o consorciado, que cuenta con inversión pública y privada, cuyo objetivo es la formación, la especialización y la certificación de capital humano, así como la oferta de servicios especializados (Diario Oficial de la Federación, 2019). De acuerdo a los propios lineamientos del fondo, este contribuye a fortalecer los ejes transversales de los CII: IoT en servicios y logística de I4.0. En esta última se incluyen los siguientes elementos: *big data*, IA, simulación de procesos, IoT, Robótica, ciberseguridad y realidad aumentada.

Como parte de la La Ruta para la Industria 4.0, en 2018 se presentó el proyecto de lanzamiento de la Plataforma Industria 4.0, misma que planteaba el establecimiento de un Consejo Consultivo de la Industria 4.0 en México y estaría conformado por el sector académico, el entonces Conacyt y una comisión de presidencia; su finalidad sería proponer acciones para el aprovechamiento de las tecnologías vinculadas a la I4.0 (Forbes, 2018). La Plataforma mencionada no entró en vigor, ya que la administración entrante en 2018 no le dio continuidad a la propuesta, y aun cuando el Consejo Consultivo sí fue constituido, sus trabajos no continuaron luego del cambio de gobierno (Forbes, 2018).

La ruta de acción planteada por el México realiza el componente educativo al considerar la promoción a carreras afines al desarrollo de la I4.0 tales como: mecánica, electrónica, matemáticas, ciencias de la computación, automatización, física, sistemas industriales, gestión de tecnologías de información y de procesos, entre otras (SE, 2016a). Asimismo, se proponía la creación de redes vinculantes entre la industria y la academia con la intención de formar ingenieros y técnicos en las áreas mencionadas. Igualmente, se preveía el fomento a la creación de negocios sustentados en internet por medio de la creación de una incubadora de alta tecnología (SE, 2016a).

El plan se proponía un horizonte temporal que iba de 2016 a 2030. Su meta última, a desarrollarse en el periodo comprendido entre 2024 y 2030, era que México se posicionara entre los 10 primeros lugares del Índice de Complejidad Económica y entre los cinco países más relevantes en lo que toca al planteamiento de soluciones digitales fundamentados en la gestión de *big data* (SE, 2016a). Las líneas de acción que brindarían soporte al proyecto estarían dadas por la creación de un Instituto Nacional de la Industria 4.0, la implementación del modelo de clúster, la vinculación de actores a través de una red de innovaciones de la I4.0, y la puesta en marcha de un campus de reproducción de la innovación y de un laboratorio de redes (SE, 2016a).

Como se ha dicho, las estrategias y programas de política aquí expuestas pertenecen a un proyecto de la administración federal anterior; más aún, el programa Prosoft, último eje de la propuesta en continuar vigente los primeros del gobierno actual, dejó de ser considerado como programa prioritario y de tener presupuesto a partir de 2021 (CEFP, 2022a, 2022b). No obstante, en noviembre de 2022 se presentó el plan “Rumbo a una política industrial”, mismo que anuncia el futuro establecimiento de pautas a seguir para un desarrollo productivo conjunto en la cual se menciona a la I4.0 como uno de sus componentes (SE, 2022:3). Cabe señalar que a la fecha no existe un documento más pormenorizado que desarrolle los puntos mencionados en la presentación.

### 3.2.4 PRINCIPALES HALLAZGOS: AMÉRICA LATINA

En lo que respecta a la región latinoamericana, dada su insipiente y falta de seguimiento, se pudo revisar el diseño de las estrategias establecidas por los tres países de la región que

cuentan con al menos con documentos de planeación o líneas estratégicas formales que apunten al desarrollo de la I4.0. El problema público que aparece como detonador de los programas de América Latina sobre I4.0 es el mismo que en los casos revisados en el primer apartado de este capítulo: la necesidad de innovación y la falta de competitividad industrial en un entorno cada vez más tecnologizado y dinámico.

Partiendo de este punto, resulta claro que los objetivos fundamentales de estas propuestas hacen referencia al incremento en la productividad y competitividad de las empresas del entramado productivo: aunque tienen una mención especial, las líneas de acción no son exclusivas para las Mipymes, sino que consideran también a las empresas de mayor tamaño. Más aún, la sectorización tampoco aparece como un factor puntualizado, solo el plan argentino focaliza en una industria en particular, la agroindustria, mientras que la estrategia mexicana refiere a al impulso a clústeres industriales, más no menciona un sector específico a favorecer.

El objetivo original en las tres estrategias revisadas está vinculado al incremento de la competitividad industrial y apuntan al uso de tecnologías específicas como medio para conseguirlo. Del mismo modo, todas destacan la profesionalización del capital humano como un elemento de atención a fin de impulsar el desempeño de la I4.0, sin embargo, la mayoría de los objetivos señalan a las personas ya ocupadas, más no prevén la educación previa; salvo México, Argentina y Brasil no toman en cuenta el impulso hacia carreras y programas educativos dirigidos a generar trabajadores capacitados o incluso una profundización en materias STEM dentro de la currícula educativa básica.

Por su parte, los actores involucrados son relativamente similares en cada uno de los casos, pues recaen en su mayoría en la participación de agencias de gobiernos a diferencia de otras estrategias como la de los Estados Unidos o Alemania, en las que, como hemos visto, destaca la colaboración de otro tipo de actores. Si bien el proyecto presentado por el gobierno brasileño considera a las cámaras empresariales, la mayoría de las agencias vinculadas son ministerios de gobierno. Por su parte, en los planes y proyectos presentados por el gobierno mexicano el principal actor involucrado es el Estado representado por medio de sus distintas instancias y organizaciones: a pesar de que el gobierno mexicano considera la incorporación de distintos sectores sociales como la academia y las empresas bajo la figura del Consejo Consultivo I4.0, los esfuerzos propuestos serían liderados por organismos de gobiernos.

Son notables las diferencias entre los casos revisados en lo relacionado a los presupuestos estimados para el despliegue de la I4.0, más no así en el origen de los fondos pues todos son de responsabilidad pública. En el caso de México, el presupuesto asignado incorporó a los objetivos del Plan de Ruta para la I4.0 programas transversales como el programa Prosoft, sin embargo, este desapareció con el último cambio de administración. Prosoft tuvo un presupuesto aprobado de 751 millones de pesos entre 2018 y 2020, aproximadamente 37 millones de dólares (CEFP, 2018, 2019, 2020). Cabe señalar que para el ejercicio fiscal de 2021 se tenía considerado un presupuesto deseable para el programa de 180 millones de pesos, no obstante, este no fue aprobado (CEFP, 2021).

Como se mencionó en un inicio, una de las características fundamentales de la I4.0 es la conectividad entre personas, objetos y ambiente. En este sentido, destacan que el IoT, el *big data* y los sistemas ciberfísicos son las áreas prioritarias de las estrategias revisadas para AL. En el caso mexicano destacaba el componente de I+D de proyectos sin hacer énfasis en un tipo de tecnología en particular.



Tabla 3-1 Matriz comparada de política de la Industria 4.0

	Alemania	Estados Unidos	Japón	China	Brasil	Argentina	México
Nombre de la estrategia	Industria 4.0	Plan de Manufactura Inteligente	Sociedad 5.0	Made in China 2025	(SENAI) Más allá de la Industria 4.0	Plan de desarrollo Productivo Argentina 4.0	Hoja de Ruta para la Industria
Año de gestación	2010	2011	2013	2015	2017	2021	2016
Objetivo primario	Incorporación de tecnologías al proceso industrial	Estimular la adopción de tecnologías disruptivas en la industria manufacturera	Revitalización de la industria y fundamentar las relaciones sociales en sistemas ciberfísicos y <i>big data</i>	Lograr una completa conectividad de las industrias manufactureras y el uso de IA.	Inversión en software	Promover soluciones tecnológicas	Fomento a la innovación industrial
Principales actores involucrados	Academia Alemana de Ingeniería, Asociación Fraunhofer, Simmens, Ministerio de Educación e Investigación, el Ministerio de Economía y Tecnología.	Consejo de Consultores de Ciencia y Tecnología de Presidencia, Smart Manufacturing Leadership Coalition, IBM, CISCO, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos, Secretaría de Defensa, Secretaría de Comercio	Gabinete de Gobierno	Estado	Ministerio de Industria, Comercio Exterior y Servicios	Ministerio de Desarrollo Productivo	Conacyt, SE, sector industrial y empresarial
Fuente de Financiamiento	Mixta	Mixta	Pública	Público	Público	Público	Público
Monto hasta 2020	\$36.04 MMDD	\$496.00 MMDD	\$194.88 MMDD	\$369.00 MMDD	\$ 3 502 MDD	\$131.50 MDD	\$ 44 235 MDD*
Área principal de impulso	Investigación y desarrollo Software	Internet de las cosas	Sensores Procesamiento de <i>big data</i> por IA	Digitalización en IA para sectores de alta tecnología	Desarrollo de Software	Generar información y capacitación	Educación y desarrollo
Tecnologías involucradas	IoT, CPS, BD, Cloud, RA, MA, IA, Ciberseguridad, Robótica, ML, Simulación	IoT, CPS, BD, Cloud, MA, IA, Ciberseguridad, Robótica, ML, Simulación	IoT, CPS, BD, Cloud, IA, Ciberseguridad, Robótica, ML	IoT, CPS, BD, Cloud, IA, Ciberseguridad, Robótica, ML	IoT, Cloud, BD, Ciberseguridad, Simulación	IoT, IA, BD, Ciberseguridad, Simulación, Robótica, SCF, 3D	IoT, RV, BD, Ciberseguridad, Robótica, ML, Simulación
Programas vinculados	Estrategia de Alta Tecnología	Plan Para el Desarrollo de la Manufactura Avanzada	Future Vision 2030	---	Plan de Acción para la I4.0 2019-2022	---	Prosoft

Fuente: elaboración propia con base en: (Câmara Brasileira da Indústria 4.0, 2020; Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020; SE, 2016b, 2018; Volpe Rodrigues et al., 2020); (Kuo et al., 2019; Oficina del Gabinete, 2020; SE, 2016a, 2016b, 2018; Volpe Rodrigues et al., 2020) \*En el caso de México el cálculo se hizo con base en el libro blanco de Prosoft.

### 3.3 ALGUNAS REFLEXIONES

El objetivo de este capítulo ha sido ofrecer un acercamiento a la revisión de las estrategias de PDP implementadas para el fortalecimiento de la I4.0 y exponer algunas diferencias y similitudes en cuanto a las acciones de política que han seguido los gobiernos para respaldar este tipo de industria caracterizada por la alta conectividad entre personas, cosas y el entorno, así como el procesamiento de grandes cúmulos de información que permitan una mayor adaptación de las empresas e industrias ante los cambios en los mercados (Eslava, 2021).

Se ha dicho que la intervención responde a la concientización de un problema público, es decir, cuando un asunto de interés se generaliza y entra en la agenda gubernamental. En este sentido, es notorio que el problema detectado para la generación de los distintos planes revisados fue la necesidad de incrementar, mantener, o al menos no disminuir la competitividad de las empresas a consecuencia de los desafíos que implica la aparición y el uso generalizado de las tecnologías disruptivas. En esta misma línea, el objetivo principal de las políticas públicas revisadas fue aumentar la productividad por medio de la utilización generalizada de las tecnologías vinculadas a la I 4.0 y de esta forma propiciar condiciones favorables para incrementar la competitividad entre las empresas al interior de los países, como de estos en el contexto internacional.

Destaca que pese a la importancia de tener documentos que respalden las intenciones de implementar programas públicos, estos no siempre se traducen de manera efectiva en estrategias funcionales. Establecer los objetivos de política pública es una parte crucial en el ámbito formal, pero su ejecución y desarrollo en acciones concretas dependen de numerosos factores adicionales: distinguir entre la planificación y la implementación es fundamental para entender las diferencias en el desarrollo de estrategias en los distintos países analizados. Identificar estas diferencias permite un análisis más profundo de casos específicos, como el de México, donde se resalta la importancia de la coordinación entre los distintos niveles gubernamentales. Identificar estas diferencias permite un análisis más profundo de casos como el de México donde se resalta la importancia de la coordinación entre los distintos ámbitos gubernamentales, así como los diversos esquemas de gobernanza tecnológica que se traducen en el grado de efectividad de los programas.

Por otra parte, es destacable que en el diseño de los planes originales en pro de la I4.0, no se consideró dentro de sus líneas de acción el componente de la conectividad en cuanto a la infraestructura para lograrlo, particularmente en lo que toca al despliegue de las redes 5G. Como se ha dicho, esto es fundamental para el desarrollo de este tipo de industria. En este sentido, las llamadas redes de quinta generación suponen el componente faltante para alcanzar el potencial que promete la I4.0. En oposición, los debates sobre el despliegue de las 5G, tema que se abordará para el caso de México en el siguiente capítulo, tienen como uno de sus ejes prioritarios su uso industrial y su potencial aplicación en la I4.0.

Como se mencionó en el capítulo II, uno de los elementos a considerar dentro del análisis de las PDP es lo referente a la economía sustentable que conlleva la relación entre lo económico, lo medioambiental y lo social. En la revisión de los planes nacionales se observa que el elemento de protección al medioambiente está prácticamente excluido de los lineamientos de PDP. Por su parte, en lo referente a la equidad social, aun cuando pudimos apreciar un fuerte componente de la cuestión educativa, no se consideran acciones en lo que toca a la pérdida de empleo derivada de la adopción de las tecnologías que componen la I4.0. Ciertamente, es posible que existan políticas tangenciales que hagan referencia a estos temas para cada uno de los países, pero revisar a profundidad cada uno de estos aspectos implicaría un estudio de caso en sí mismo por lo que en este apartado únicamente nos enfocamos en la PDP per se. No obstante, en el siguiente capítulo se hace un análisis del caso mexicano atendiendo a recursos de política que van más allá de la PDP en sí misma, aunado a una revisión general de las capacidades de los gobiernos subnacionales en lo que toca a las dimensiones de PDP consideradas en este trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO 4 INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS DE DESARROLLO PRODUCTIVO EN MÉXICO**

La importancia de la política pública a nivel nacional reside en buena parte en que es la que sostiene a largo plazo el desarrollo productivo de un país. Son los estados nacionales los que, a través de herramientas de política, incentivan la productividad y promueven la competencia de las naciones en el mercado global y de las empresas en el mercado interno. De no existir una línea de acción orientada desde el gobierno, el desarrollo de los países se lleva a cabo de una manera ralentizada y desigual.

Como se observó en el capítulo anterior, son los países con un mayor grado de desarrollo los que se insertaron de más rápida en la implementación de medidas para el despliegue de la I4.0. Los cuatro casos revisados ajenos al contexto latinoamericano plantean proyectos a largo plazo que implican la vinculación entre distintos actores y tienen por objetivo último mejorar la competitividad internacional.

Para el América Latina, la situación es distinta. Aunado a que son pocos los países que han generado estrategias desde el Estado para orientar las PDP, estas son de muy reciente creación; se han visto fragmentadas temporalmente y carecen de una planeación que vaya más allá de la temporalidad de las administraciones nacionales. Lo anterior abona a la perspectiva recurrente de que en América Latina no existe una política industrial propiamente dicha. Sin embargo, al menos en lo que toca al caso mexicano, buena parte de esta se lleva a cabo desde las entidades federativas y no desde el ámbito nacional lo cual genera ciertas peculiaridades en la implementación de la PDP. En el presente capítulo se expondrán algunas generalidades de las distintas normativas y organismos vinculados con la PDP en México, así como los principales elementos que la modifican desde el plano subnacional.

En apartados anteriores se ha mencionado que adecuar las instituciones públicas a fin de regular las nuevas tecnologías es una de las principales formas en las que el Estado interviene en el desarrollo tecnológico. Para cumplir con este objetivo es necesaria la intervención de diversos actores, los cuales gestionan una serie de programas, planes y proyectos a fin de propiciar el desarrollo productivo de un país, estado o región.

En la historia reciente de México se han observado distintas estrategias para intentar impulsar a la economía nacional que van desde el modelo importación por sustitución de importaciones de las décadas de los 70 y 80, hasta las tendencias hacia un mercado abierto que tienen una de sus máximas expresiones en la implementación del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) (López Valdez, 2016). El presente texto no busca profundizar en los elementos que han caracterizado la PDP de México, sino que centra su atención en el periodo más recientes considerando que los enfoques para la implementación de la I4.0 ocurren a nivel internacional desde hace apenas poco más de diez años.

En México, la inclusión de una PDP relacionada con la I4.0 surge en el sexenio federal de 2012-2018, cuando las estrategias de política en esta área estaban centradas en reducir los sesgos de información entre agentes económicos y dar seguimiento a políticas horizontales que pretendía favorecer al fortalecimiento de los mercados y su apertura promoviendo la competencia por medio de la regulación económica (López Valdez, 2016). Del mismo modo, se buscaba el mejoramiento y modernización de las infraestructuras tecnológicas destacando la tendencia a la eliminación de subsidios a los créditos y los esquemas de protección comercial, así como ciertos incentivos fiscales (López Valdez, 2016).

Como se ha mencionado, el supuesto era disminuir las diferencias regionales en México en cuanto al desarrollo económico y productivo utilizando como estrategias principales la reducción de regulaciones y la simplificación de procedimientos a la par de la promoción de políticas sectoriales y regionales que fortalecieran ciertas áreas productivas (DOF, 2013). Para la consecución de dichos fines, se promovía la ampliación de la infraestructura y el fortalecimiento a áreas prioritarias, la minería, el sector agroalimentario y el turismo, al mismo tiempo que se impulsaba una apertura comercial por medio de nuevos tratados de libre comercio y la disminución de la intervención estatal (DOF, 2013).

Esta visión se contraponía con la perspectiva de algunos países asiáticos cuyo desarrollo se ha comparado con el caso mexicano y en los que era el Estado el que promovía una visión de amplia extensión temporal asumiendo un compromiso a largo plazo para la consecución de las metas y los objetivos propuestos a fin de desarrollar las capacidades y ventajas comparativas de sus países (Arellano Morales, 2014; López Valdez, 2016).

Resalta la importancia de una PDP que, conducida bajo la responsabilidad de los gobiernos nacionales sobre el cumplimiento de las prácticas y principios establecidos de

manera conjunta con los diversos actores económicos, tiene la intención primaria de generar un beneficio económico en función del fortalecimiento del mercado interno, y del incremento de la capacidad competitiva de los países en el mercado global (López Valdez, 2016). Si bien en el sexenio de 2012 a 2018 se establecieron los primeros lineamientos hacia una PDP relacionada con el desarrollo de la I4.0, se ha visto, como ocurre en muchas otras áreas, una falta de continuidad en la misma. No obstante, en fechas muy recientes se ha retomado el interés por ahondar en una PDP nacional que oriente el establecimiento de la I4.0 en el país.

Al igual que en el capítulo III, donde se hizo una revisión documental de los programas y estrategias de planeación nacional, en este capítulo también se hará énfasis en este tipo de herramientas tanto a nivel federal como estatal. Como se ha mencionado, las PDP dependen de una estrategia a largo plazo que vincule cada una de las dimensiones que las componen: el crecimiento y el desarrollo son procesos complejos que no ocurren de forma inmediata y necesitan una maquinaria institucional que funcione durante un largo período para poder observar resultados contundentes. Es en los planes y programas de planeación donde se establecen prioridades y estrategias, se plantean objetivos y se estipulan indicadores a través de los cuales se van a medir los resultados de las principales políticas públicas que conducirán un periodo de gobierno.

El presente capítulo presenta algunos de los elementos que tendrían mayor relevancia en la planeación de una PDP orientada a la I4.0 en México considerando los elementos fundamentales para su desenvolvimiento. Primero se analiza el plano federal con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y el Plan Sectorial de Economía (PSE) como principales estrategias de planeación que rigen los objetivos de la administración federal, y que señalan objetivos y metas para incrementar la productividad del país. En seguida, en el plano subnacional se toma como instrumento de análisis a los Planes Estatales de Desarrollo (PED) como principales elementos de planeación de política pública en el ámbito estatal. Cabe señalar que en este último punto son comparados distintos periodos de tiempo, ya que esos corresponden a las administraciones estatales

Los cinco pilares de la PDP están íntimamente vinculados entre sí, y tanto organismos, como reglamentaciones y programas traslapan sus objetivos en cada una de las dimensiones. Es por demás complejo analizar cada una de las partes involucradas en la PDP de manera exhaustiva, más aún cuando no hay un programa de vinculación transversal. Sin

embargo, es importante exponer algunos elementos formales de la política nacional que tienen injerencia en las dimensiones de la PDP e implicaciones en la normativa y política pública estatal. Sobre pasa los límites de este trabajo profundizar en estos aspectos, no obstante, para fines informativos, en la tabla 4.0 se enuncian algunas de las principales legislaciones, organismos y programas vinculados con las dimensiones de la PDP.

Tabla 4-1 Leyes, organismos y programas nacionales vinculados a la PDP

	Legislación relevante	Organismos involucrados	Programas específicos
<b>Políticas de CyT</b>	Ley de Ciencia y Tecnología: establece las pautas principales para la promoción, desarrollo y difusión de la investigación científica y tecnológica en el país. Reconoce al Conahcyt como el principal responsable de la promoción y financiamiento de estas áreas.	Conahcyt: principal responsable de la promoción y financiamiento de la ciencia y tecnología en México. Administra diversos programas presupuestarios destinados a financiar la investigación y el desarrollo tecnológico.	Fondos Sectoriales: colaboraciones entre Conacyt y diversas dependencias gubernamentales para financiar proyectos de investigación y desarrollo en áreas específicas de interés nacional, como salud, energía, medio ambiente y agricultura. Programas de Estímulo a la Innovación (PEI): tenían como función incentivar a las empresas a invertir en investigación y desarrollo (I+D) mediante la financiación de proyectos de innovación tecnológica. Los fondos se otorgan a empresas que colaboran con instituciones de investigación y educación superior para desarrollar nuevas tecnologías y productos. Fondos Mixtos (Fomix): apoyaban proyectos en ciencia y tecnología que respondan a prioridades y demandas específicas establecidas por los gobiernos subnacionales, principalmente de orden estatal. Permitían que cualquier persona inscrita en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt) sea sujeto de apoyo. Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fordecyt): su objetivo era Contribuir al desarrollo económico regional a través de acciones científicas, tecnológicas y de innovación. Al igual que los Fomix, forma parte del Programa Presupuestario de Fomento Regional de las Capacidades Científicas, Tecnológicas y de Innovación S278 <sup>12</sup> .
<b>Políticas Sectoriales (clústeres y producción de bienes de alta tecnología)</b>	Ley de la Industria Eléctrica: regula la industria eléctrica en México y establece las bases para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Ley de Hidrocarburos: regula la exploración, explotación, refinación, almacenamiento, distribución, transporte y comercialización de hidrocarburos en México.	Secretaría de Economía (SE): promueve el desarrollo económico, creación de programas para el fomento del emprendimiento, la innovación, la transferencia de tecnología, y formulación de políticas para el desarrollo de diversas áreas de producción.	

<sup>12</sup> Algunos de los instrumentos que formaban parte de los Fomix y Fordecyt se incluyeron en los 109 fideicomisos extintos por decreto en 2020; esta decisión se tomó aludiendo a la austeridad republicana y al combate hacia el endeudamiento y derroche de recurso (DOF, 2020).



<b>Mipymes</b>	Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa: promueve la competitividad y el desarrollo de las Mipymes mediante medidas que faciliten su crecimiento, acceso a financiamiento, innovación y desarrollo tecnológico. Ley de Fomento para la Microindustria y la Actividad Artesanal: impulsar el desarrollo de la microindustria y la actividad artesanal en el país mediante medidas que fomenten su crecimiento y competitividad.	Secretaría de Economía <sup>13</sup>	
		Secretaría del Bienestar: diseña y ejecuta políticas públicas y programas sociales orientados a mejorar las condiciones de vida de la población, especialmente de los sectores más vulnerables.	Apoyo Financiero a Microempresas Familiares (Tandas para el Bienestar): ofrece microcréditos sin intereses a pequeñas empresas familiares para fomentar su desarrollo y sostenibilidad. Programa de Crédito a la Palabra: Proporcionar créditos a microempresas con el objetivo de fortalecer su capacidad productiva, especialmente relevante durante la crisis por la pandemia COVID-19.
		Nacional Financiera (Nafin): ofrece opciones de financiamiento, garantías y capacitación para Mipymes, además de impulsar las exportaciones de estas empresas y ofrecer capacitación y asistencia empresarial relacionada con procesos administrativos.	
<b>Políticas Comerciales (patentes y exportaciones)</b>		Secretaría de Economía	Programa de Promoción Sectorial (PROSEC): facilita la importación de insumos, partes, componentes y maquinaria para la fabricación de productos destinados a la exportación, con aranceles preferenciales o exentos. Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX): permite a las empresas importar temporalmente sin pagar impuestos ciertos bienes utilizados en la producción, transformación o reparación de mercancías que se destinarán a la exportación.

<sup>13</sup> Es relevante mencionar al Instituto Nacional del Emprendedor (INADEM), discontinuado en abril de 2019, que tuvo un papel crucial en el apoyo a emprendedores mediante la oferta de fondos, por medio del Fondo Nacional Emprendedor, y programas de capacitación. La Red de Apoyo al Emprendedor, parte de este instituto, ofrecía asesoría y acompañamiento a emprendedores a través de una red de instituciones públicas y privadas, facilitando el acceso a recursos y capacitación.

	Ley de Propiedad Intelectual: regula de manera formal los asuntos relacionados con la propiedad intelectual y especifica las vías y procesos que deben seguirse para llevar a cabo un registro de patentes en México.	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI): protege la propiedad industrial en México, incluyendo marcas, diseños industriales y patentes. Además de proteger el uso con fines de lucro de los elementos mencionados, el IMPI asesora sobre temas relacionados con la propiedad intelectual.	
<b>Economía Resiliente</b>	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR): regula la asignación del espectro radioeléctrico, el uso de frecuencias de radio y la prestación de servicios de internet.	Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT): ejecutar lo estipulado en la LFTR, gestionar el despliegue de redes 5G en México, y coordinar el Comité Técnico en Materia de Despliegue de la 5G.	Acuerdo por el que se instala el Comité Técnico en Materia de Despliegue de la 5G en México: establecimiento del órgano consultivo que emite recomendaciones sobre el uso de la 5G y formas de licitar el espectro para su instauración.
	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDH): regula el uso de suelo y garantiza la compatibilidad para el despliegue de infraestructura en telecomunicaciones, incluyendo la 5G.		
	Ley Federal del Trabajo (LFT): establece el derecho a la capacitación y adiestramiento de los trabajadores, imponiendo la obligación de otorgarla sobre los patrones o contratantes.		
	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA): establece disposiciones para la manutención del equilibrio ecológico en México.	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA): coordina auditorías ambientales y programas de autorregulación a través del Programa Nacional de Auditoría Ambiental (PNAA).	Programa Nacional de Auditoría Ambiental (PNAA): incentiva a las organizaciones privadas a realizar auditorías ambientales voluntarias para corregir impactos medioambientales.

Fuente: elaboración propia

## 4.1 HERRAMIENTAS DE PLANEACIÓN NACIONALES

En México, los intentos por realizar una PDP a nivel federal se han caracterizado por componerse de ejes o líneas de acción transversales utilizadas como lineamientos para diferentes políticas públicas cuyo fin es el incremento de la productividad de las empresas. La última estrategia de este tipo se dio a conocer por el gobierno federal a finales de 2022 con la presentación del plan “Rumbo a una política industrial”, mismo que anunciaba el establecimiento de pautas a seguir para un desarrollo productivo conjunto aludiendo a que las administraciones anteriores habían considerado que “la mejor política industrial es la que no existe” (SE, 2022:3).

Como es sabido, en un sistema federal tanto los organismos públicos como las reglamentaciones<sup>14</sup> responden a ciertas jerarquías y tienen implicaciones en distintos ámbitos de gobiernos. Por ejemplo, existen distinciones entre leyes generales, leyes federales y las nacionales. Las leyes generales distribuyen competencias, pueden ser aplicadas por cualquier ámbito de gobierno, y unifican criterios que los gobiernos subnacionales deben desarrollar siendo que los congresos locales han de desarrollar leyes complementarias para su aplicación. Las leyes federales son aplicables en todo el país, pero únicamente pueden ser aplicadas por instancias federales. Las leyes nacionales también tienen aplicación en todo el país; se ciñen a las competencias establecidas por mandato constitucional y no es necesario que los congresos locales generen leyes secundarias para su aplicación.

Es muy importante resaltar el papel del PND, mismo que plantea los objetivos propios de cada administración federal y del cual derivan buena parte de los programas sectoriales y líneas de acción programática. En el actual PND 2019-2024, en la sección de economía se incluye la mención del fortalecimiento al mercado interno por medio de proyectos regionales

---

<sup>14</sup> La regulación son las reglas, sanciones y normativas que emite el Estado; son de interés público y obligatorias (SE, 2018). Existen tres tipos: 1) la económica (reglas que rigen al mercado y garantizan la competencia leal); 2) la regulación social (protección de la salud, al medio ambiente y al trabajo), y 3) la regulación administrativa (desempeño de la administración pública) (SE, 2018). A diferencia de la reglamentación, la normalización establece lineamientos para el sector público y para el privado en áreas como: medio ambiente, salud, seguridad, información, prácticas comerciales, etc. Establecen clasificaciones, terminología y especificaciones aplicables a productos y servicios, y son emitidas por grupos de expertos y aceptadas por el Estado de forma voluntaria u obligatoria (SINEC, 2023). En México se utilizan las normas oficiales mexicanas (NOM), regulaciones técnicas obligatorias que se expiden por las dependencias competentes, y la norma mexicana (NMX), elaboradas por un organismo nacional o la SE y son un marco de referencia para determinar la calidad de productos y servicios (SINEC, 2023).

y programas sectoriales, así como la creación de empleos y la facilitación de créditos a Mipymes que constituyen el 93% de los mismos (DOF, 2019). También se sustenta en el documento el programa Internet para todos, cuya perspectiva es para un uso individual de la red, más deja fuera de cualquier consideración lo referente al uso industrial y comercial de la misma (DOF, 2019).

En el PND se describen los proyectos regionales apoyados por la administración actual: Tren Maya, Programa para el Desarrollo del Istmo de Tehuantepec y el Programa Zona libre de la Frontera Norte; los cuales tienen que ver con la creación de infraestructura en comunicaciones y la reducción en la tasa de impuestos, nada se menciona sobre una tecnologización de las áreas en las que se busca aumentar la productividad (DOF, 2019). Lo mismo ocurre con el proyecto titulado “Autosuficiencia alimentaria y rescate al campo”, en el que se consideran varios puntos orientados al fortalecimiento de pequeños y medianos productores, pero las estrategias para ello se reducen en gran medida a la dotación de apoyos directos (DOF, 2019).

Más destacado aun es que el apartado sobre ciencia y tecnología es de apenas tres líneas en las que se excluye lo vinculado a la industria y al comercio, aunque se señala a Conahcyt como encargado de ejecutar el llamado Plan Nacional de Innovación que planea la articulación de diversos sectores para crear un sistema de I+D en el cual se incluye a la industria y se hace mención de las Mipymes y la I4.0. De acuerdo a sus objetivos, está orientado a la ciencia y a la tecnología como resolutor de problemas nacionales y menciona como temas estratégicos y prioritarios la salud, la energía y el cambio climático y la seguridad humana (Conahcyt, 2020). Del mismo modo, el Programa Institucional de Conahcyt para 2020-2024 está considerablemente enfocado a la cuestión educativa, más en lo que toca a procesos industriales y comerciales sólo considera la vinculación de actores en un modelo triple hélice (Conacyt, 2021)

Del PND se desprende el Programa Sectorial de Economía (PSE), gestionado por la Dirección de Planeación Estratégica y Coordinación Sectorial (DPECS) de la Secretaría de Economía (SE). El PSE 2020-2024 establece cuatro objetivos prioritarios, y estrategias y acciones puntuales para cada uno de ellos (SE, 2020).

Si bien en el PSE destacan dos objetivos prioritarios, el fomento a la innovación, y la promoción de la creación y consolidación e más Mipymes, es posible afirmar que este

programa vincula al menos cuatro de las cinco dimensiones de la PDP: se busca el fortalecimiento de las MIPYMES a través de mecanismos como el Fondo PYME (SE, 2024), así como la innovación y tecnologización de las unidades productivas, pero también se incentivar la transferencia tecnológica y el otorgamiento de patentes, al tiempo que se busca fomentar la exportación de bienes de valor agregado (SE, 2020). De hecho, dentro del objetivo prioritario en función de “fomentar la innovación y el desarrollo económico de los sectores productivos” (SE, 2020, p.28) se incluyen dos de las llamadas acciones puntuales referentes a la I4.0: “promover la adopción de nuevas tecnologías para transitar hacia la Industria 4.0” (p.28) y “elaborar análisis, fichas, reportes, mapas de ruta y material especializado para apoyar el fomento a las industrias estratégicas con miras a transitar hacia las Industrias 4.0” (p.29)

Se podría decir que este programa es lo más semejante a una PDP nacional, sin embargo, como se ha mencionado, se limita a lineamientos muy generales. Incluso algunas de las estrategias que se presentan como líneas de acción específicas resultan un tanto ambiguas como una de la previamente mencionadas: nunca se menciona cuáles van a ser las actividades puntuales para la adopción de nuevas tecnologías en función de la I4.0.

Asimismo, el programa tiene un plazo de ejecución de apenas cuatro años, por lo que la estrategia se queda en un mediano plazo, el cual resulta muy corto para poder analizar los resultados esperados o hacer un análisis de impacto a profundidad. Además, no se desarrolla de manera profunda cómo se integraría la participación de los distintos actores involucrados, ni se incluye la participación de las entidades federativas. Tampoco se menciona ningún programa específico derivado de este, por lo que los distintos programas y políticas siguen recayendo en las unidades administrativas de manera aislada.

Retomando las dimensiones aquí propuestas, si bien la mayoría de ellas son mencionadas, no se toman en cuenta sectores productivos prioritarios ya sea por ser particularmente competitivos o por necesitar fortalecimiento. Otro aspecto que no es considerado son las repercusiones medioambientales ni las consecuencias en el ámbito laboral de la tecnologización. En este sentido, el programa se enfoca únicamente en impulsar el crecimiento económico a partir del crecimiento de las unidades productivas, sin considerar a la fuerza laboral.

## 4.2 POLÍTICA DE DESARROLLO PRODUCTIVO A NIVEL SUBNACIONAL

Como se ha mencionado, la relevancia de la política pública nacional radica en su capacidad de sostener a largo plazo el desarrollo productivo de un país y promover su crecimiento equitativo. En el apartado anterior se revisaron algunas iniciativas y estrategias planteadas para tal fin, sin embargo, las estrategias, programas de acción y vinculación con los distintos actores de los diferentes ámbitos no están claramente definidos a nivel federal. No obstante, gran parte de estas políticas se han implementado a través de los gobiernos subnacionales.

Además del PND y los planes estratégicos e institucionales, cada una de las entidades federativas cuenta con su propio PED, el cual obedece a sus necesidades y legislación interna. Si bien las entidades federativas gozan de cierta autonomía para establecer sus propias metas y objetivos, estas no han de contravenir los objetivos y prioridades contenidas en el PND, del mismo modo que ninguna legislación de orden local puede transgredir lo estipulado en la normatividad federal. Se dice que las facultades de los estados son residuales debido a que únicamente se establecen de manera constitucional las atribuciones de la federación y de los municipios, más de las entidades federativas sólo se menciona su autonomía y las facultades para establecer su propia constitución interna siempre y cuando no contravengan las disposiciones oficiales de manera nacional (Cámara de Diputados, 2022).

A pesar de que en prácticamente todos los PED se menciona a la CTI para el incrementar el desarrollo productivo y la educación, son pocos los estados que han desarrollado programas específicos o líneas de acción directa que promuevan la alta tecnologización de las empresas. Algunas entidades como es el caso de San Luis Potosí y Yucatán señalan algunas generalidades vinculadas al impulso a la I4.0 o a la cuarta revolución industrial. En el caso de primero, el PED menciona explícitamente a la I4.0 como una de las estrategias para el desarrollo económico del estado: alude a la adopción de tecnologías de la información y la comunicación en la industria, así como la formación de capital humano especializado en estas áreas (Gobierno de SLP, 2022). Por su parte, en el PED de Yucatán, sólo menciona a la I4.0 como un área prioritaria en cuanto a educación superior se refiere, sin embargo, es de las pocas entidades que puntualiza desde el PED una serie de indicadores cuantitativos propios para la entidad en este aspecto y desarrolla fichas técnicas de cada uno de los objetivos del mismo incluyendo: desarrollo industrial,

infraestructura digital, y educación superior y enseñanza científica y técnica (Gobierno de Yucatán, 2019).

Otras entidades federativas como Aguascalientes y Morelos, profundizan un poco más en el entendimiento u objetivos con respecto a la I4.0 o cuarta revolución industrial y explicitan algunos mecanismos de articulación entre la innovación tecnológica y la industria, aunque los programas específicos no se estableces desde el PED o se encuentran en un estado muy incipiente a diferencia de entidades como Guanajuato y Nuevo León, quienes han establecido diversos planes, programas y líneas de acción para fomentar la tecnologización de sus industrias y sectores productivos. A continuación, se detallan algunas de las acciones y estrategias que estas entidades han implementado a partir de sus PED.

#### 4.2.1 AGUASCALIENTES

PED de Aguascalientes 2016-2022<sup>15</sup> tiene como objetivo establecer un ambiente propicio para la investigación científica, el progreso tecnológico y la innovación en todos los sectores clave como el automotriz. Se pretende fomentar la creación, transferencia y divulgación de conocimiento en un entorno competitivo desde el punto de vista económico, social e institucional (Gobierno de Aguascalientes, 2020). Además, se busca promover la colaboración entre la academia, las empresas y los sectores de alta tecnología, implementar avances tecnológicos en los servicios públicos y crear un entorno propicio para el emprendimiento e innovación, especialmente enfocado en el impulso de empresas basadas en tecnología (Gobierno de Aguascalientes, 2020). Desde esta perspectiva, se busca reforzar las habilidades para la gestión de la innovación, incrementar la cantidad de investigadores en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y simplificar y digitalizar los procedimientos y servicios que refuerzan la gestión empresarial y la calidad de las regulaciones (Gobierno de Aguascalientes, 2020:51).

En el PED de Aguascalientes se menciona la importancia de la tecnificación e implementación de innovaciones tecnológicas en los sectores productivos del estado y se

---

<sup>15</sup> En marzo de 2023 se publicó la primera edición del PED Aguascalientes 2022-2027, en el que se mantiene la mención de la cuarta revolución industrial: e este último se considera como objetivo estratégico para 2045 el que Aguascalientes sea el principal centro de desarrollo de la 4RI de Latam (Gobierno de Aguascalientes, 2023:33).

plantea que la entidad destaca en sectores estratégicos como el automotriz, el del plástico y el del calzado. Además, destaca la intención de convertir a Aguascalientes en un estado y ciudad inteligente con base en un amplio despliegue tecnológico (Gobierno de Aguascalientes, 2020).

Si bien las estrategias antes descritas están alineadas con los objetivos de la I4.0, la entidad no establece la creación de programas específicos dentro del PED que provean de elementos para impulsar la tecnologización de la industria o sectores económicos prioritarios. No obstante, en octubre de 2023 El Instituto de Educación de Aguascalientes (IEA) y la empresa Capgemini establecieron una alianza para implementar un programa de formación y certificación enfocado en habilidades digitales y tecnológicas cuya finalidad es la formación de capital humano de la entidad en temáticas vinculadas a la I4.0 y el mercado laboral emergente que trae conlleva (Valtierra Navarro, 2023). La gestión de las iniciativas resultantes de este programa estarían a cargo del IEA y abarca la actualización de los planes de estudio de las universidades de la entidad a fin de asegurar su alineación con las demandas de la I4.0, así como la capacitación y certificación en tecnologías disruptivas como: IA, redes 5G, aprendizaje automático y gemelos digitales (Valtierra Navarro, 2023). El objetivo principal de este proyecto es fortalecer la preparación de la fuerza laboral del estado ante los continuos cambios tecnológicos proporcionando a los estudiantes y profesionales de la entidad herramientas útiles para desenvolverse en sectores productivos cada vez más tecnologizados propios de la I4.0 (Valtierra Navarro, 2023).

#### 4.2.2 MORELOS

En el PED del estado de Morelos se hace mención explícita de la I4.0 y, a fin de incrementar la productividad del sector secundario, reconoce como necesario impulsar las tecnologías que la conforman y la definen (Gobierno de Morelos, 2021). Del mismo modo, se plantean diversas tácticas y programas destinados a potenciar a las empresas con base tecnológica y tienen la finalidad es estimular la inversión en innovación y desarrollo tecnológico, brindar capacitación en transformación digital, y promover la creación de nuevas empresas. Algunas de las estrategias mencionadas son:

- Financiamiento para en innovación y desarrollo tecnológico.



- Impulso de proyectos relacionados con la innovación, transferencia de conocimientos e incubación de empresas orientadas a la tecnología.
- Programas de respaldo destinados a capacitar a Mipymes en la transformación digital para facilitar su incursión en la I4.0.
- Creación de un fondo mixto de apoyo y financiamiento destinado a empresas tecnológicas que se establezcan en el estado.
- Estímulo para la formación de nuevas empresas con enfoque en la economía azul<sup>16</sup> y el emprendimiento social (Gobierno de Morelos, 2021:656).

Como resultado de los objetivos y estrategias planteadas en el PED, en 2022, la Secretaría de Desarrollo y del Trabajo (SDEyT) y la Asociación de Industriales y Empresarios de Morelos (ADIEM) Sindicato Patronal presentaron dos programas para elevar la competitividad del sector productivo de la entidad: el Programa para el Impulso de la Industria 4.0, y la Transformación Digital y el Entrenamiento Intensivo para Formación de Talento Humano Segunda Generación, cuyo despliegue representaría una inversión de poco más de siete millones pesos provenientes del Fideicomiso Ejecutivo del Fondo de Competitividad y Promoción del Empleo (Fidecomp) (Gobierno de Morelos, 2022). Como resultado de estas iniciativas se llevaría cabo el Foro Industria 4.0 2022 y la capacitación especializada a jóvenes emprendedores con organizaciones digitales. Cabe mencionar que foros de este tipo se han llevado a cabo en la entidad desde 2018, mismo año en que la ADIEM en colaboración con la Secretaría de Economía de Morelos, cámaras empresariales, universidades y centros de investigación crearon el Consejo Consultivo de Desarrollo Económico, cuya finalidad era promover el desarrollo de la I4.0 y la competitividad del estado (Loewe, 2018).

#### 4.2.3 NUEVO LEÓN

El Eje 2, Generación de riqueza sostenible, del PED de Nuevo León 2022-hace mención al proyecto estratégico conocido como la Nueva Economía de Nuevo León. Este proyecto se fundamenta en el impulso de diversos sectores y áreas productivas respaldadas por la

---

<sup>16</sup> El termino fue popularizado por Gunter Pauli y su libro La Economía Azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos. Hace referencia a al uso eficiente y sostenible de los recursos marinos, al tiempo que busca desarrollar sectores económicos que dependan de la biodiversidad de los océanos minimizando su impacto ambiental (Pauli, 2011).

tecnología, la innovación y el desarrollo de conocimiento, con el objetivo de fortalecer la implementación de la I4.0 y otras iniciativas tecnológicas mediante la colaboración activa de diversos actores, coordinados por la Secretaría de Economía de la entidad. (Gobierno de Nuevo León, 2022).

Dentro del Eje 2 se aborda el tema de la competitividad e innovación. En este contexto, el propósito central del PED es establecer a la entidad como pionera en la industria inteligente, a pesar de que solo el 3% de las empresas en la región se enfocan en actividades vinculadas a la investigación y desarrollo científico. (Gobierno de Nuevo León, 2022). Entre los resultados concretos que se anticipan, se incluye el aumento de la inversión en sectores económicos vinculados a la I4.0. Algunos de los indicadores propuestos para evaluar el avance en este ámbito abarcan tanto la inversión como la cantidad de empleados dedicados a investigación y desarrollo. (Gobierno de Nuevo León, 2022).

En el marco de ese mismo plan, se presenta el proyecto Silicon Valley como la iniciativa principal para alcanzar los objetivos previamente mencionados. El propósito es establecer una relación productiva entre la investigación, la inversión extranjera directa, la financiación y la participación del sector empresarial. La entidad responsable de coordinar este proyecto es la Secretaría de Economía del estado y se anticipa que conllevará diversos beneficios, como el fortalecimiento de la competitividad y el impulso a la industria altamente tecnológica (Gobierno de Nuevo León, 2022). La propuesta para este proyecto se fundamenta en la cooperación de la triple hélice (academia, gobierno y sociedad) mediante pactos intersectoriales, eventos públicos, encuentros estratégicos y el establecimiento de distritos emprendedores diseñados para albergar empresas digitales, startups y tecnología de automatización (Gobierno de Nuevo León, 2022).

Aunque el PED previo incluía la referencia a la Industria 4.0 en sus metas y estrategias, la iniciativa Nuevo León 4.0 surge a partir del año 2017. (Mexico Industry, 2017) y se conserva en la administración actual. Dentro de esta estrategia, se establecen objetivos y metas que guardan similitud con los definidos en el actual PED de Nuevo León.

En la Estrategia estado inteligente Nuevo León 4.0 se define a la cuarta revolución industrial como "la convergencia de sistemas ciberfísicos para crear procesos autoajustables, inteligentes, flexibles y eficientes mediante la digitalización del proceso productivo desde el diseño hasta el consumo" (Gobierno de Nuevo León, S/F:5). De manera similar a todas las

estrategias de política industrial, se anticipa un aumento en la competitividad del estado y la superación de ciertas amenazas relacionadas con el avance tecnológico, tales como: el rezago en este ámbito, la pérdida de empleo y la persistencia de actividades consideradas de bajo valor productivo. (Gobierno de Nuevo León, S/F:5).

#### 4.2.4 GUANAJUATO

El PED 2040, fue presentado en 2018 por el entonces Gobernador del estado, Miguel Márquez (Visión Industrial, 2018). En este documento se establecen metas y objetivos a largo plazo que se buscan alcanzar completamente para el año 2040. En términos económicos, la meta planteada es lograr un uso sostenible de los recursos, así como incrementar la competitividad del estado mediante la incorporación de conocimientos, el desarrollo del capital humano y la adopción de tecnologías disruptivas. En este contexto, se propone la creación de un centro destinado a impulsar el talento especializado en la adquisición de habilidades para la Industria 4.0, con aplicaciones en diversos sectores económicos (Gobierno de Guanajuato, 2019b).

En el PED 2040 se pretende fortalecer aspectos específicos, como el apoyo a los sectores económicos existentes, al mismo tiempo que se fomentan modelos de negocio innovadores centrados en la diversificación económica, impulsados principalmente por la tecnología y la innovación. Además, se plantea la instauración de centros de producción y agrupaciones industriales adicionales con el objetivo de cultivar un sistema empresarial innovador (Gobierno de Guanajuato, 2019b).

El componente de CTI dentro del ámbito económico implica estimular el emprendimiento mediante nuevas corrientes de negocio que impulsen la integración de ecosistemas y mercados centrados en la innovación. Esto incluye la modernización tecnológica de la entidad con el propósito de establecer las condiciones tecnológicas requeridas para una industria con estas características. (Gobierno de Guanajuato, 2019a). En este sentido, se busca implementar una estrategia de cuatro hélices (sector productivo, gobierno, centros de investigación y sociedad), en la que la capacitación del factor humano juega un papel fundamental. Adicionalmente, se pretende crear una plataforma de investigación y desarrollo estrechamente conectada con el ámbito empresarial, reforzando la

financiación de estas empresas. En la actualidad, Guanajuato cuenta con un sistema de siete parques tecnológicos e innovadores que ofrecen un entorno físico favorable para esta colaboración. (Gobierno de Guanajuato, 2019a).

En 2019, se lanzó uno de los proyectos fundamentales dentro de esta estrategia. El programa iNNdustria 4.0 tenía como meta impulsar y facilitar la coordinación de actividades productivas de alto valor añadido, al mismo tiempo que incentivaba la adopción de nuevas tecnologías en sectores convencionales para aumentar la productividad y reforzar las cadenas de valor mediante la innovación tecnológica. Además, se promovía el crecimiento de sectores emergentes relacionados con tecnologías avanzadas con el propósito de lograr una integración más completa de las actividades económicas industriales en el marco de la I4.0 (Gobierno de Guanajuato, 2018).

La entidad responsable de la coordinación de este proyecto fue la entonces Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior del Estado de Guanajuato. La población atendida abarcaba tanto a las empresas operativas en el estado como a estudiantes y centros de investigación (Gobierno de Guanajuato, 2018). La supervisión de estas iniciativas sería responsabilidad de entidades de la sociedad civil y organizaciones sin fines de lucro, las cuales desempeñarían un papel intermedio entre el gobierno y las empresas, ofreciendo respaldo a los proyectos durante su transición hacia la digitalización o la incorporación de tecnologías. Se otorgó especial atención a la región centro-oeste del Estado, aunque esta preferencia no implicaba exclusión (Gobierno de Guanajuato, 2018).

Las áreas de asistencia se dirigían a fortalecer la formación y establecimiento de empresas en la I4.0, así como a potenciar las capacidades productivas mediante la tecnología y el establecimiento de negocios que proporcionaran productos y servicios para esta industria. El gobierno del estado de Guanajuato asignó un total de 4 millones de pesos para el programa iNNdustria 4.0, distribuidos en tres categorías de proyectos: 1) generación e integración de empresas en la Industria 4.0 (1.5 millones), 2) implementación de tecnología para incrementar la productividad (1 millón), y 3) establecimiento de empresas con productos o servicios para la Industria 4.0 (1.5 millones) (Gobierno de Guanajuato, 2018)<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Cabe señalar que durante el desarrollo de esta tesis el PED 2040 se actualizó a PED 2050 Level (El Economista, 2024), sin embargo, por cuestiones de tiempo, el análisis de esta actualización no se incluye en el presente trabajo de investigación

En general, el estado de Guanajuato es uno de los más avanzados en la materia en materia de innovación; por medio de diversos planes, programas y convocatorias establece sus propios indicadores y metas a fin de conseguir los objetivos vinculados a I4.0 (A. Martínez et al., 2022). Un ejemplo es el IDEA, que busca impulsar el desarrollo económico y social del estado a través de la CyT y la I+D con impacto social (Gobierno de Guanajuato, 2023).

Tabla 4-2 Estrategias Aguascalientes, Morelos, Nuevo León y Guanajuato

<b>Dimensiones</b>	Aguascalientes	Morelos	Nuevo León	Guanajuato
Periodo y estado actual	2016-2022. Terminado	2019-2024. En ejecución	2022-2027. En ejecución	2018-2040. En proceso de actualización a PED 2050
<b>Definición de I4.0</b>	NE	“etapa de evolución técnica económica que incluye tecnologías de información, <i>big data</i> , inteligencia artificial y drones, entre otras” (Gobierno de Morelos, 2021:261)	"Convergencia de sistemas ciberfísicos para crear procesos autoajustables, inteligentes, flexibles y eficientes mediante la digitalización del proceso productivo desde el diseño hasta el consumo" (Gobierno de Nuevo León, S/F)	NE
Objetivo Principal	Establecer ambiente propicio para investigación, tecnología e innovación en todos los sectores clave.	Incrementar la productividad del sector secundario	Posicionar a la entidad como líder en la industria inteligente.	Aprovechamiento sostenible de recursos, aumento de la competitividad mediante conocimiento, capacitación y tecnologías disruptivas.
<b>Principales sectores</b>	Sectores automotriz, plástico y calzado.	Iniciativas para potenciar empresas con base tecnológica, economía azul y emprendimiento social.	Desarrollo de diferentes sectores sustentados en tecnología e innovación.	Tecnología, innovación, y sectores tradicionales con la adopción de tecnología
<b>Programas Específicos</b>	Programa de formación en habilidades digitales. No especificado en el PED.	Programa para el Impulso de la I4.0 y la Transformación Digital Entrenamiento Intensivo para Formación de Talento Humano	Proyecto Silicon Valley Nuevo León 4.0	iNNdustria 4.0 r IDEA
<b>Alianzas y Colaboraciones</b>	Instituto de Educación de Aguascalientes Capgemini	ADIEM Sindicato Patronal	Diferentes actores.	Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior.
<b>Resultados esperados</b>			Incremento de la inversión en áreas económicas relacionadas con la I4.0.	Fomento de la tecnología y la innovación
<b>Indicadores de Progreso</b>	No especificado	Se sugieren indicadores como inversión y personal empleado en I+D.	Incremento de inversión en áreas económicas relacionadas con la I4.0.	Indicadores propios
<b>Modelo de Colaboración</b>	Academia, empresas y sectores de alta tecnología	Secretaría de Economía Estatal, SDEyT y ADIEM Sindicato Patronal, Cámaras empresariales, universidades, centros de investigación.	Triple hélice y acuerdos intersectoriales	Cuatro hélices con énfasis en la capacitación del capital humano
<b>Localización Estratégica</b>			No especificado	Región centro-oeste del estado
<b>Presupuesto</b>	No especificado	7 millones de pesos	No especificado	4 millones de pesos (iNNdustria 4.0)

Fuente: elaboración propia con base en PED estatales

#### 4.2.5 HALLAZGOS DE LA POLÍTICA A NIVEL SUBNACIONAL

El análisis reveló que apenas seis entidades hacen referencia de manera explícita a la I4.0 o a la 4RI. Sin embargo, es importante destacar que prácticamente todas las entidades federativas consideran algún componente de innovación tecnológica, ya sea en el ámbito educativo o en relación con el desarrollo económico de los estados. Esto no es de sorprender ya que hoy en día la tendencia es buscar el desarrollo a partir de la innovación tecnológica, misma que propiciaría una mayor competitividad de las regiones.

Es relevante señalar que aquellos estados que enfatizan más el aspecto tecnológico suelen ser en los que hay una presencia de clústeres industriales en sectores considerados de alta tecnología como es el caso de Guanajuato (automotriz), y Nuevo León (automotriz, aeroespacial y médico) (Lopátegui, 2022). Sin embargo, lo anterior no es una constatación ya que el caso de Querétaro resalta al no contar con una política pública específica en este sentido y formar parte de los clústeres automotriz y aeroespacial.

Sin embargo, al igual que Guanajuato y Aguascalientes, Querétaro apuesta por la digitalización de trámites y servicios en la entidad, lo cual pocos estados y países consideran y que se vincula con el despliegue de la I4.0 (Gobierno de Querétaro, 2021). Como se vio en el capítulo II, las PDP se disgregan en tres factores, uno de los cuales refiere al entorno, es decir, al entramado institucional en pro de un mercado competitivo y se relaciona con la forma en la que se dan las relaciones entre los gobiernos y las entidades productivas. Casos similares al de Querétaro son los de Baja California, Sonora y el Estado de México, los cuales, a la par del Bajío y Guadalajara, forman parte de los corredores del crecimiento digital en México en lo que toca a procesos industriales y económicos (Lopátegui, 2022) y tampoco explicitan instrumentos o estrategias de política referentes al desarrollo de la I4.0.

También es destacable que en buena parte de los PED se plantea como fundamental la vinculación entre academia, empresas y gobierno, con el objetivo de fomentar la apropiación del conocimiento tecnológico en actividades productivas. Este enfoque es evidente en estados como Aguascalientes, la Ciudad de México o San Luis Potosí donde se subraya la importancia de aumentar el número de investigadores como indicador de CIT (Gobierno de Aguascalientes, 2020; Gobierno de la CDMX, 2020; Gobierno de SLP, 2022).

Además, se observa un énfasis en la promoción de la innovación a través de la generación de patentes y la propiedad intelectual. La creación de nuevos productos se señala en los PED de Chihuahua (Gobierno de Chihuahua, 2021), al tiempo que el énfasis en la propiedad intelectual y las patentes se mencionan como asuntos prioritarios en los PED de Michoacán, Coahuila y la CDMX (Gobierno de Coahuila, 2017; Gobierno de la CDMX, 2020; Gobierno de Michoacán, 2021).

Por otro lado, en el ámbito educativo se consideran dos áreas clave: la educación formal, que implica la inclusión de herramientas tecnológicas en la enseñanza básica y universitaria, y las capacitaciones laborales. Es notable que la atención a estas áreas varía según el grado de desarrollo de cada entidad. Por ejemplo, Oaxaca y Guerrero, estados con numerosos municipios en condiciones de marginación o pobreza (Semarnat, 2021), enfatizan el acceso a internet para proveer condiciones básicas de comunicación y enseñanza (Gobierno de Guerrero, 2022; Gobierno de Oaxaca, 2022). Particularmente en Oaxaca, se hace notar que se busca acercar las tecnologías, incluido internet, a las zonas rurales. En el caso de las entidades industrializadas, se establecen planes de capacitación para el personal ya empleado y, en algunos casos, para la profesionalización universitaria (Gobierno de Oaxaca, 2022).

En cuanto a los sectores estratégicos, se observa un interés preponderante de los sectores agropecuario y agroindustrial. Son varios los estados que apuestan por una tecnologización de sector primario como el caso de Tabasco en lo agroindustrial y Veracruz en lo que toca al gas y el petróleo (Gobierno de Tabasco, 2019; Gobierno de Veracruz, 2016). También se menciona con frecuencia la importancia de las energías renovables y, en algunos casos, se destacan las Mipymes (Colima, Guerrero, Nuevo León, Tamaulipas), aunque no de manera uniforme (Gobierno de Colima, 2021; Gobierno de Guerrero, 2022; Gobierno de Nuevo León, 2022; Gobierno de Tamaulipas, 2016). A pesar de que la tecnologización se asocia principalmente al sector secundario, es decir, la manufactura, algunos estados también vinculan la I4.0 con el sector de servicios, donde se encuentran la mayoría de las Mipymes y que también ofrecen productos altamente tecnologizados.



Además de las estrategias de política a seguir a fin de propiciar el desarrollo de las entidades, los PED ofrecen indicadores cuya finalidad es medir los resultados de las políticas públicas implementadas. En este sentido, destaca la adopción de los indicadores propuestos por la ONU en los ODS por parte de varios estados, como Yucatán y Veracruz (Gobierno de Veracruz, 2016; Gobierno de Yucatán, 2019). Sin embargo, se reconoce que estos indicadores son generales y pueden no ser completamente aplicables a condiciones particulares de ciertos estados o municipios, mismos que requerirían de indicadores ad hoc que reflejen sus características particulares.

Se observa que las prioridades estatales están estrechamente vinculadas al grado de desarrollo de los estados. En entidades con altos índices de marginación, como Guerrero y Oaxaca (Semarnat, 2021), el interés en la tecnología se relaciona más con necesidades básicas, como el acceso a internet. Aunque todos los estados mencionan la importancia de la tecnología, su enfoque varía según el nivel de desarrollo. Aquellos con un desarrollo medio, como Durango o Coahuila, orientan el uso de tecnología hacia políticas de aumento de productividad y desarrollo económico, destacando la manufactura inteligente y el apoyo a las Mipymes.

Por otro lado, estados altamente clusterizados y con un grado significativo de desarrollo económico e industrial, como Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro (Inegi, 2021), se preocupan por crear un entorno propicio para el desarrollo empresarial mediante la tecnología. En estos casos, la tecnología se percibe como un potenciador económico. Curiosamente, el estado de Querétaro no prioriza sectores industriales específicos, sino que centra su enfoque tecnológico en la tecnologización del estado, indicando cierto enfoque en el proceso de formulación de políticas públicas en México, donde la tecnología procede de la industria y los sectores económicos, y sólo cuando las áreas productivas se han apropiado de ella, se aplica los procesos burocráticos. Esta dinámica refleja la tendencia en la implementación de políticas públicas, las cuales revelan un énfasis en el desarrollo empresarial o industrial antes de abordar las necesidades del Estado.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Sin embargo, aunque esto es una tendencia no ocurre en todos los casos, por ejemplo, desde muy tempranos la municipalidad de Jun de apenas 3500 habitantes optó por la el uso de Twitter para vincularse de las dinámicas del ayuntamiento (Holgado, 2023). No obstante, hoy en día esa estrategia de vinculación gobierno -ciudadanía ha generado alguna discordia pues está de por medio la dependencia del ayuntamiento a una transnacional (Holgado, 2023).

Tabla 4-3 CTI, sectores estratégicos, y capacitación y educación tecnológica en los PED

Estado	Enfoque en CTI	Sectores Estratégicos	Capacitación y educación CTI
<b>Aguascalientes</b>	<p>Construcción de un ecosistema para la I+D y el desarrollo tecnológico.</p> <p>Vinculación academia, empresas y sectores de alta tecnología.</p> <p>Generación, transferencia y difusión de conocimiento.</p> <p>Integración de tecnologías digitales, físicas y biológicas para incrementar la productividad.</p> <p>Fortalecimiento de capacidades y Aumento de SIN</p> <p>Simplificación y digitalización de trámites y servicios.</p>	Automotriz, plástico, calzado	<p>Educación en CTI.</p> <p>Capacidades y talento humano en gestión de la innovación.</p> <p>Establecer un ecosistema de emprendimiento e innovación para empresas tecnológicas.</p>
<b>Baja California</b>	<p>Investigación científica multidisciplinario.</p> <p>Apropiación social de la CyT. Orientación a prioridades estatales.</p> <p>Proyectos de investigación para el desarrollo económico y social.</p>	Manufactura, comercio	<p>Generar nuevos conocimientos a través de la ciencia básica. Resolver problemas que frenan el desarrollo mediante ciencia aplicada.</p>
<b>Baja California Sur</b>	<p>Impulso al desarrollo económico y la competitividad mediante la innovación y tecnología.</p> <p>Estrategias para fortalecer infraestructura CyT</p> <p>Promoción de la I+D</p> <p>Fomento a políticas de innovación y emprendimiento.</p>	Turismo, pesca, agricultura, ganadería, minería, energía, manufactura	<p>Capacitación y formación para el sector empresarial.</p>
<b>Campeche</b>	<p>Fortalecimiento de infraestructura tecnológica e innovación.</p> <p>Impulso a la gestión e inversión en desarrollo de capital humano.</p> <p>Eficiencia y competitividad de la industria mediante innovación y desarrollo tecnológico.</p> <p>Inversión en desarrollo de capital humano y transferencia de tecnología.</p>	Energético, turístico, agroindustrial, pesquero, manufacturero, servicios.	<p>Formación de capital humano de alto nivel en CTI. Incrementar programas de posgrado en áreas estratégicas. Promover la gestión e inversión en I+D e innovación.</p> <p>Divulgación del conocimiento y capacitación.</p>
<b>Coahuila</b>	<p>CTI para generar valor agregado.</p> <p>Fortalecer la vinculación entre empresas e instituciones educativas para impulsar CyT.</p> <p>Aumento de investigadores.</p> <p>Simplificación de trámites y servicios para fomentar la innovación.</p>	Industria, servicios, comercio, automotriz	<p>Vinculación de empresas con instituciones educativas.</p>

<b>Colima</b>	Fortalecimiento de la CTI y el desarrollo tecnológico. Enfoque en mejorar calidad de vida, crecimiento económico sostenible y adopción de tecnologías sustentables. Implementación de programas de investigación, vinculación entre sector rural y centros de investigación.	Turismo, comercio, industria sustentable, Mipymes, educación, campo	Promover investigación y desarrollo en centros educativos.
<b>Chiapas</b>	Financiamiento, infraestructura e investigación científica. CTI para el desarrollo sostenido.	Turismo	Vinculación de ciencia, tecnología, innovación y comunicaciones con sistema educativo.
<b>Chihuahua</b>	Innovación como motor de desarrollo económico a largo plazo. Creación de nuevos productos y procesos para elevar la competitividad y el bienestar social.	Industria y especialización inteligente	Capacitar y certificar empresas en mejora de productos y transferencia tecnológica.
<b>Ciudad de México</b>	Divulgación y articulación territorial entre polos de innovación.	Industrias creativas, conocimiento, médicas, reciclamiento, economía circular, agricultura	Fomentar educación científica y tecnológica para toda la ciudadanía. Construir redes de investigación y desarrollo para resolver problemas de la ciudad. Establecer alianzas con centros generadores de conocimiento.
<b>Durango</b>	Alianzas estratégicas, economía circular, desarrollo de infraestructura y producción de investigaciones de alto impacto. Manufactura avanzada. Énfasis en sectores tecnológicos	Mipymes, agroindustria, turismo, energías renovables, minería y sectores tecnológicos (manufactura avanzada, TIC, logística y transporte).	Formación de docentes, establecer esquemas de colaboración con áreas productivas.
<b>Guanajuato</b>	Articulación sistémica entre sectores para promover CTI. Estrategias de innovación abierta y colaboración entre academia, sector privado, gobierno y sociedad. Fortalecimiento de esquemas de colaboración, innovación abierta, cocreación y trabajo en redes entre sectores.	Turismo, agroalimentario, ciencia, tecnología e innovación	Colaboración para innovación abierta y divulgación de CTI.
<b>Guerrero</b>	Impulso a la incorporación de tecnologías en procesos de producción y capacitación en competencias digitales. Gestionar recursos para infraestructura y promover convenios con instituciones académicas. Incorporación de tecnologías, gestión de recursos, promoción de convenios con instituciones académicas.	Agroindustrial, industria alimentaria, comercio, turismo	Capacitación en habilidades empresariales y tecnológicas.

<b>Hidalgo</b>	Enfoque en emprendimiento con base tecnológica. Creación de ecosistema de innovación y emprendimiento Fortalecimiento de infraestructura científica y promoción de investigación científica y tecnológica.	Industria manufacturera, agroindustria, energías renovables, turismo, industrias culturales y creativas, servicios	Enseñanza de TIC en universidades.
<b>Jalisco</b>	Vinculación entre academia, industria, sociedad y gobierno. Importancia de la CTI para el desarrollo.	Agropecuario, agroindustrial, industrial, energético, comercial, turístico, servicios	Educación en TIC.
<b>México</b>	Fomentar la investigación científica y tecnológica aplicada. Busca incrementar becas, apoyar centros de investigación Promover la cooperación en investigación y desarrollo tecnológico.	Automotriz, aeroespacial, electrónica, biotecnología, agroindustria, turismo, energía y medio ambiente	Incremento de becas Capacitación en tecnologías avanzadas para trabajadores.
<b>Michoacán</b>	Impulsa la investigación e innovación aplicada con cooperación interinstitucional. Fortalecimiento a la cultura de la propiedad intelectual. Financiamiento externo. Empleo de herramientas tecnológicas para generar cambio.	Agroindustria, turismo, manufactura, energías renovables, TIC	Impulsar internet gratuito en escuelas para nuevos modelos de aprendizaje.
<b>Morelos</b>	Articulación de CTI con la Industria 4.0 mediante la convergencia de tecnologías (digitalización, IoT, <i>big data</i> , cómputo en la nube, robótica y nanotecnología) Convergencia de tecnologías para crear sistemas inteligentes en toda la cadena de valor. Inversión en proyectos de investigación aplicada, transferencia tecnológica, innovación empresarial y emprendimiento.	Agroindustrial, manufactura avanzada, farmacéuticos y cosméticos, automotriz, servicios educativos y de salud	Capacitación de docentes y directores en Consejos Técnicos Escolares.
<b>Nayarit</b>	Vinculación entre comunidades de CTI y sectores productivos (instituciones, centros de investigación, productores y empresas). Implementación de tecnología de punta, modelos educativos prácticos y programas de CTI	Agropecuario, turístico, energético, manufacturero, ciencia, tecnología e innovación	Vinculación entre instituciones de educación y tejido empresarial. Fomentar capacitación de servidores públicos en sistemas de información. Modelos educativos prácticos. -Programa de Vinculación y Articulación del Sistema de Innovación -Programa de Desarrollo de la Industria del Conocimiento, que tiene como objetivo

<b>Nuevo León</b>	Digitalización y transformación a tecnologías 4.0. Mejorar la productividad mediante la reducción de tiempos de producción, Inversión en sectores vinculados con la I4.0.	Sectores estratégicos, promoción de inversión en I4.0 y sectores emergentes	Desarrollar mayores niveles de especialización en universidades.
<b>Oaxaca</b>	Vinculación academia-empresas Investigación aplicada en sectores estratégicos. Resolución de problemas prácticos: investigación aplicada. Adopción de tecnologías disruptivas.	Agroindustrial, artesanías, biodiversidad, energías renovables, infraestructura, minería, pesca, turismo	Implantar política de ciencia y tecnología en educación.
<b>Puebla</b>	Importancia creciente de las TIC en el trabajo. Transferencia de tecnologías en el medio rural. Impulso a la innovación como fuente de empleo.	Automotriz, textil	Competencias laborales.
<b>Querétaro</b>	Transformación en un estado con base tecnológica Enfoque en el ecosistema digital gubernamental.	Mipymes, digitalización.	Incrementar matrícula en educación superior en áreas científicas y tecnológicas.
<b>Quintana Roo</b>	CTI pilares para el progreso económico y social sostenible. Impulso a empresas de base tecnológica y cultura innovadora. Prioridad en la innovación para superar crisis.	Fortalecimiento industrias locales, reactivación clúster de madera y mueble	Educación básica en internet.
<b>San Luis Potosí</b>	Vinculación industria y centros de investigación Transferencia de tecnología Innovación en unidades productivas. Aumento de investigadores. Impulso a adopción de TIC en la industria.	Metalmecánico, electrónico, biotecnología, semiconductores, aeroespacial, automotriz	Transformación tecnológica en todas las escuelas. Mejora de capacidades científicas y tecnológicas.
<b>Sinaloa</b>	CTI para desarrollo sostenible de sectores productivos Políticas de vinculación y negocios.	Manufactura, bioeconomía, logística, procesamiento de alimentos, turismo, TIC, energías	Formación de capital humano Impulso a la divulgación y enseñanza
<b>Sonora</b>	Colaboración entre gobierno, empresas y academia para crear ecosistema de innovación. Promoción de diversificación de estructura productiva. Colaboración para transferencia de investigación aplicada y desarrollo tecnológico. Creación de ecosistema de innovación y diversificación de estructura productiva.	Turismo, agroindustria, manufactura, minería, energías renovables	Ecosistema estatal de innovación para transferencia de investigación aplicada.

<b>Tabasco</b>	Articulación entre gobierno, academia y empresas Promoción de generación y aplicación de conocimiento Mantenimiento de redes de colaboración, generación y aplicación de conocimiento.	Industria petrolera, energía, servicios	Capacitación técnica para el campo y recursos naturales.
<b>Tamaulipas</b>	Desarrollo de infraestructura y condiciones para mejorar competitividad y calidad de vida. Impulso a inversión y fortalecimiento de Mipymes.	Sectores agropecuario, pesquero, forestal, industrial, turístico.	No especificado.
<b>Tlaxcala</b>	Conexión de industrias con centros de enseñanza e investigación. Inversiones públicas y privadas en creación de conocimientos y soluciones tecnológicas. Modernización del sector productivo	Empresariales, campo, artesanías, emprendedores	Ciencia y tecnología unidas a la educación para conectar industrias con centros de enseñanza e investigación
<b>Veracruz</b>	Fortalecimiento de la vinculación entre academia e industria para investigación y desarrollo tecnológico.	Industrias químicas, alimentaria, bebidas, tabaco, sector primario	Capacitación laboral.
<b>Yucatán</b>	Promoción de investigación científica y tecnológica Fomento de innovación y desarrollo tecnológico. Colaboración entre centros de investigación, instituciones educativas y empresas.	Turismo, agroindustria, energía, TIC, salud, educación, infraestructura, medio ambiente, seguridad	Programas de capacitación para mujeres en tecnologías. Formación de recursos humanos e impulso al desarrollo de talento
<b>Zacatecas</b>	Enfoque en CTI y emprendimiento Destinación del 1% del presupuesto anual en CTI. Impulso a la innovación y el desarrollo regional.	Agroindustria alimentaria, energías renovables, manufactura avanzada, minería, TIC	Formación de recursos humanos en CTI para fomentar sociedad y economía productiva.

Fuente: elaboración propia con base en los PED

### 4.3 ALGUNAS REFLEXIONES

En el presente capítulo se hizo una revisión general de aquellas legislaciones y normativas de la política federal que incidirían en el marco de una PDP vinculada a la implementación de Industria 4.0. Sin embargo, se ha señalado que gran parte de la política industrial en México se lleva a cabo a nivel subnacional. A nivel federal, el PND es el marco rector que guía todas las estrategias de políticas del país. De manera similar, los PED son las hojas de ruta que establecen objetivos prioritarios para el progreso de las entidades federativas. Por esta razón, se realizó una revisión exhaustiva de los 32 planes estatales de desarrollo vigentes a la fecha con el objetivo de verificar, en una primera instancia, si el despliegue de I4.0 o la tecnologización de sectores económicos específicos son consideradas áreas prioritarias para cada entidad.

El estudio reveló que apenas seis entidades hacen referencia a la I4.0 o a la 4RI. Sin embargo, es importante destacar que prácticamente todas las entidades federativas consideran algún componente de innovación tecnológica, ya sea en el ámbito educativo o en relación con el desarrollo económico. Esto no es de sorprender ya que hoy en día la tendencia es buscar el desarrollo a partir de la innovación tecnológica, misma que propiciaría una mayor competitividad de las regiones.

Una de las implicaciones de que la mayor parte de la política de desarrollo productivo ocurra en mayor medida a nivel subnacional es que esta tiende a acentuar las desigualdades regionales preexistentes, pues cada una de las entidades establece sus propios criterios y acciones prioritarias dependiendo de sus actividades productivas, de especialización o de sus condiciones contextuales particulares.

Se ha mencionado que los mismos procesos de adopción de tecnología por parte de las empresas tienen características diversas y algunas tienden a digitalizarse o tecnologizarse en mayor medida que otras, por ende, el que exista una gran variedad de sectores productivos dentro de una misma nación origina *per se* una profundización de las desigualdades regionales más aún si no existe una línea de acción que oriente a todas las entidades federativas hacia un fin común.

Constitucionalmente, las capacidades estatales no están propiamente definidas, sino que estas dependen de los atributos residuales, es decir, lo que no hace la federación ni los

municipios es lo que llevan a cabo las entidades federativas. No obstante, como vimos previamente, las leyes generales también otorgan capacidades a los gobiernos subnacionales. Además, hay diferencias considerables dependiendo de qué estado de la república se trate ya que cada uno tiene áreas prioritarias distintas.

Cabe mencionar que no ha sido interés de la presente tesis ahondar en cuáles han sido las estrategias de cada uno de los estados a fin de generar una mayor capacidad industrial, sino reconocer, tomando en cuentas las atribuciones de las entidades y sus principales líneas de acción presentadas en los PED, cuáles serían los indicadores y atributos que beneficiarían a las entidades federativas a fin de generar una mayor capacidad productiva y resiliencia ante el despliegue de las tecnologías que se vinculan con la I4.0.

Si se toma en cuenta tanto las perspectivas teóricas, como la revisión de políticas públicas nacionales y subnacionales hechas en este y los capítulos previos, el estudio presentado en el próximo capítulo se centrará en factores clave que afectan la implementación de las políticas orientadas al despliegue de la I4.0, considerando indicadores relevantes no sólo para medir innovación y uso de tecnología, sino también para evaluar la preparación de las entidades federativas y los países ante los desafíos de la automatización asociados con la I4.0.



## **CAPÍTULO 5 METODOLOGÍA Y RESULTADOS ÍNDICE DE CONDICIONES ANTE LA INDUSTRIA 4.0**

El presente capítulo tiene por objetivo exponer la metodología llevada a cabo para aplicar la teoría sobre las PDP orientadas al desarrollo de la I4.0 en la generación de un índice compuesto. Como se mencionó en el apartado introductorio, uno de los objetivos de este trabajo es hacer una revisión de las condiciones de los estados y países ante el despliegue de la I4.0 para lo cual se llevó a cabo una revisión documental y de literatura, punto de partida para encontrar indicadores que muestren las circunstancias a nivel subnacional con respecto al despliegue de la I4.0.

Si se toma como base el Manual para la Construcción de Indicadores Compuestos de la OCDE; la metodología plantea la generación de un índice compuesto que muestre el estado actual y las capacidades de las entidades federativas hacia el despliegue de la I4.0. El Índice de Condiciones ante la I4.0 (ICI 4.0) muestra la posición relativa de cada una de las observaciones en comparación con el resto de las observaciones en un periodo de tiempo específico que, en este caso, corresponde a 2021, sin embargo, el índice propuesto puede ser replicable a otros periodos de tiempo.

En el análisis nacional se revisaron algunos casos de política pública destacados en lo que toca al despliegue de la I4.0 para revisar sus similitudes, diferencias y resultados con la intención de establecer parámetros prácticos y no sólo teóricos, que aporten a la construcción de indicadores que midan las condiciones de la I4.0 a nivel subnacional mismo que pueda ser replicable para analizar las condiciones a nivel de los países.

La importancia de un análisis subnacional para el caso de México radica en que buena parte de la PDP del país ocurre desde los gobiernos estatales. Igualmente, los análisis nacionales pueden resultar demasiado generales y difieren de acuerdo con las diferentes estructuras políticas y económicas. Los trabajos de investigación que tratan con indicadores globales no ofrecen un panorama de las diferencias que se enmarcan en contextos de amplia desigualdad social como ocurre en el caso de los países de América Latina, incluido México.

Cabe mencionar que además de seguir el manual de la OCDE, también se tomó en cuenta la propuesta metodológica del Instituto Mexicano de Competitividad (IMCO) para la elaboración del Índice de Competitividad Estatal (ICE). Además de ser una metodología ya

probada, se consideró esta propuesta por tener un enfoque similar al que se presenta en este texto lo cual facilitó la incorporación de algunos criterios técnicos para el desarrollo del ICI 4.0.

En los apartados siguientes se describe con mayor detalle la metodología propuesta a fin de generar un indicador de seguimiento al despliegue de la I4.0 que refleje no sólo el grado de avance de los sectores productivos, sino que también considere variables referentes al componente de economía sostenible, es decir, que muestre que tan preparados o susceptibles están las entidades para enfrentar los cambios económicos, políticos y sociales que se desprendan de los cambios tecnológicos actuales.

### 5.1 ¿QUÉ ES UN INDICADOR COMPUESTO?

En términos generales, un indicador es una medida derivada de una serie de observaciones que reflejan la posición específica de un caso con respecto a otros, esto es, refleja las diferencias entre unidades de observación y puede ser aplicado en distintos momentos (OCDE, 2008). Los indicadores son útiles para mostrar tendencias y dirigir la atención hacia ciertos asuntos en la agenda pública y son de particular interés en lo que respecta a la evaluación y monitoreo de política, así como para realizar una comparación entre países, regiones o provincias y vislumbrar el estado de los mismos en diversas temáticas de interés público (OCDE, 2008).

Por su parte, un indicador compuesto se obtiene al agrupar indicadores individuales en un sólo índice sustentado en una forma específica de construcción (OCDE, 2008). Los indicadores compuestos miden conceptos multidimensionales que no pueden capturarse a través de un único indicador, por ejemplo, el desarrollo sustentable, la integración de los mercados o la desigualdad social (OCDE, 2008).

Como toda metodología, la elaboración de indicadores compuestos presenta ventajas y desventajas. Entre las primeras se han mencionado algunas como la facilidad de presentar un acercamiento a las condiciones actuales de un hecho social, además, por lo general son de fácil interpretación ya que establece un *ranking* entre las observaciones realizadas y funciona como un resumen multidimensional de un tema específico (OCDE, 2008). Por otro lado, entre las desventajas encontramos que este tipo de mediciones pudiesen considerarse como una visión simplista y generalizada de las políticas públicas o de los problemas que se están

analizando, y que, si bien refleja la condición o el estado de una temática en determinado momento, no así las causas profundas de los resultados obtenidos (OCDE, 2008).

Sin embargo, al proponer un indicador de este tipo se busca evaluar las condiciones de la I4.0 y establecer un parámetro estandarizado de comparación entre entidades federativas. Más aún, a través de la revisión teórica, documental y de casos destacados hecha en los capítulos previos se ha profundizado en algunos aspectos que pudiesen vincular causas y posibles consecuencias del posicionamiento de las entidades con respecto a la puesta en marcha de la I4.0. Este análisis previo ha sido la base para la selección de las variables e indicadores utilizados para la elaboración de un índice compuesto (OCDE, 2008). Tanto el análisis documental y de política pública (capítulos III y IV) como la revisión teórica (capítulo II) tienen la finalidad de conducir hacia la selección de indicadores de seguimiento ante la I4.0.

La matriz de indicadores presentada más adelante se sustenta en cuatro de las cinco dimensiones propuestas de Dini, (2022) que integran las PDP. Como se ha señalado previamente, la dimensión de *economía resiliente* sustituye a la de ESS. Por su parte, la revisión de las estrategias de política constituye una base empírica que acompaña a la teoría para robustecer los indicadores seleccionados en cada una de las dimensiones del ICI 4.0. Particularmente, en las estrategias de política se encontraron variables comunes y fuentes de información que facilitaron la obtención de los datos necesarios en la elaboración del índice.

## 5.2 METODOLOGÍA

### 5.2.1 INDICADORES, DATOS Y SUBÍNDICES

En la selección de indicadores para cada una de las dimensiones que componen el ICI, se tomaron en cuenta aquellos sugeridos por Dini, (2022), así como otros a los que se hacía comúnmente referencia en los PED y en las estrategias de política nacional revisadas. Cabe mencionar que, aunque en muchos casos no se mencionan explícitamente los indicadores utilizados para medir los resultados de las PDP, en la revisión de política pública expuesta en los capítulos III y IV, se pueden observar las alusiones a variables o temas prioritarios que pueden asociarse con evaluaciones numéricas.

Del mismo modo, la selección de datos se llevó a cabo tomando en cuenta otros aspectos como la capacidad de medición, la cobertura (nacional o por entidad federativa),

que expresaran puntos relevantes del fenómeno estudiado, así como cuestiones meramente técnicas como la disponibilidad de la información, y que esta sea publicada de manera regular a fin de posibilitar la replicabilidad del índice. Igualmente, se procuró que cada uno de los indicadores aportara información distinta, pese a que ninguno de los elementos funciona de manera aislada. Es importante mencionar que para algunas variables se optó por considerar indicadores compuestos elaborados por agencias públicas debido a la dificultad técnica de generarlos. Sin embargo, se tomó en consideración que dichos indicadores compuestos no estuviesen correlacionados con el resto de los datos.

La selección final dio como resultados 18 indicadores para el índice estatal y 16 para el nacional. Estos se agruparon en cinco dimensiones o subíndices: cuatro correspondientes a las categorías propuestas en el marco teórico de Dini (2022) más el de economía resiliente. A continuación, se describen brevemente los indicadores utilizados para el ICI 4.0 tomando en cuenta las características propias de este tipo de industria, las dimensiones de las PDP, los PED y las estrategias más destacadas implementadas por los países.

Tabla 5-1 Descripción de variables. ICI 4.0 estatal

Dimensión	VARIABLES	Medida	Fuente
Política de ciencia y tecnología	Presupuesto en CyT	Presupuesto CTI porcentaje del PIB	Cuenta pública por entidad federativa y solicitudes de información
	Centros de investigación	Centros registrados en Reniecyt por cada 100 mil/hab	Cálculo propio con datos de Conahcyt
	Número de investigadores	Tasa de investigadores por cada 100 mil/hab	Cálculo propio con datos de Conahcyt
	Programas destinados a CyT	Número de programas	Informes de gobierno estatales y solicitudes de información
Políticas comerciales	Número de patentes	Solicitudes de patente por cada 100 mil/hab	Cálculo propio con datos del IMPI
	Exportaciones de media alta y alta nivel tecnológico	Porcentaje de las exportaciones de alta y media alta de las exportaciones totales	Cálculo propio con datos de Inegi
Mipymes	Financiamiento Pyme	Promedio de presupuesto entre el total de unidades económicas Pyme	Solicitudes de información en PNT
	Uso de Internet	Porcentaje de unidades económicas Pyme que emplearon servicio de Internet	Cálculo propio con datos de Inegi
	Compras por Internet	Porcentaje de unidades económicas Pyme que hicieron compras por internet	Cálculo propio con datos de Inegi
	Ventas Por Internet	Porcentaje de unidades económicas Pyme que hicieron ventas por internet	Cálculo propio con datos de Inegi
Políticas sectoriales (clústeres)	Presencia de clúster	Número de clústeres	Solicitudes de información en PNT
	Complejidad económica	Índice de complejidad económica	Secretaría de Economía
	Producción de bienes de media alta y alta tecnológica	Porcentaje de la producción de alta y media alta tecnología de la producción total	Cálculo propio con datos de Anuies
Economía resiliente	Matrícula en áreas STEM	Porcentaje de egresados en áreas STEM	Cálculo propio con datos de Inegi
	PEO en áreas de media alta y alta tecnología	Población económicamente ocupada en áreas de media alta y alta tecnología	Cálculo propio con datos de Inegi
	Industria limpia	Índice Industria Limpia	Cálculo propio con datos de Profepa
	Infraestructura digital	Índice de Infraestructura Digital	IFT
	Desarrollo digital	Índice de Desarrollo Digital	IFT

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5-2 Descripción de variables. ICI 4.0 nacional

Dimensión	Variables	Medida	Fuente
Política de ciencia y tecnología	Presupuesto en CyT	Presupuesto CTI porcentaje del PIB	Banco Mundial
	Complejidad económica en investigación	Índice de Complejidad económica en investigación (datos de publicaciones)	Observatorio de Complejidad Económica
	Número de investigadores	Tasa de investigadores por millón/hab	Banco Mundial
Políticas comerciales	Número de patentes	Solicitudes de patente por millón/hab	Cálculo propio con datos de la OMPI
	Exportaciones de media alta y alta nivel tecnológico	Porcentaje de las exportaciones de alta y media alta de las exportaciones totales	Banco Mundial
Mipymes	Crédito interno	Crédito otorgado a empresas como porcentaje del PIB	Banco Mundial
	Mipymes con conexión a Internet	Porcentaje Mipymes con conexión a Internet	OCDE
	Facilidad para hacer negocios	Ranking sobre las condiciones institucionales que facilitan los negocios	Banco Mundial
Políticas sectoriales (clústeres)	Presencia de clúster	Número de organizaciones de clústeres	Plataforma Europea de Colaboración en Clústeres
	Complejidad económica	Índice de complejidad económica	Observatorio de Complejidad Económica
	Producción industrial	Porcentaje de la producción industrial del PIB	Banco Mundial
Economía resiliente	Matrícula en áreas STEM	Porcentaje de egresados en áreas STEM	Cálculo propio con datos de UNESCO
	PEO en áreas de media alta y alta tecnología	Población económicamente ocupada en áreas de media alta y alta tecnología	Cálculo propio con datos de OIT
	Emisiones de CO2 del sector productivo	CO2 emisiones del sector productivo como porcentaje del total de emisiones	Comisión Europea
	Número de servidores seguros	Servidores seguros por millón/hab	Banco Mundial
	Estado de la 5G	Etapas de despliegue de la 5G	Asociación Mundial de Proveedores de Telefonía Móvil

Fuente: elaboración propia.

En las tablas 5.1 y 5.2 se resume los indicadores utilizados para el índice. Sin embargo, es preciso hacer ciertas observaciones sobre algunas de las variables cuya medida es compuesta o se agrupó la información de manera específica.

En primer lugar, para el caso del ICI estatal, las variables que consideran grado tecnológico, además de omitir al sector gubernamental, por no ser un sector económicamente productivo, se clasificó la información de las unidades económicas y la PEO en alto, medio alto, medio bajo y bajo grado tecnológico de acuerdo a los sectores que consideran la OCDE y la Unión Europea de la siguiente manera:

- Alta: aeroespacial, computadoras y tic, medicamentos, nanotecnología y productos ópticos
- Media alta: instrumentos científicos, vehículos de motor, equipo electrónico (menos comunicaciones), químicos (menos medicamento), maquinaria no eléctrica,
- Media baja: caucho y plástico, construcción y reparación de barcos y maquinaria, otras manufacturas, metalurgia, productos no metálicos, petróleo
- Baja: papel e imprenta, textiles, alimentos, bebidas y tabaco, madera, muebles, almacenamiento e instrumentos.

Por su parte, para la matrícula STEM se tomó en cuenta al número de personas egresadas en ciencias de la salud, ciencias naturales, matemáticas y estadística, ingeniería, manufactura y construcción, y tecnologías de la información y comunicación.

Los índices de complejidad económica, y los de infraestructura y desarrollo digital se tomaron directamente de la fuente que los calcula; para el caso del primero la SE; y los dos últimos el IFT. No así en lo que toca al índice de Industria Limpia, el cual se calculó tomando como base los indicadores declarados por la Profepa normalizando cada uno de ellos en valores mínimos y máximos, para posteriormente obtener un promedio simple del valor de cada uno. Las variables tomadas en cuenta para este último indicador fueron: no. de empresas participantes, ahorro en energía eléctrica (kwh/año en función del consumo de energía promedio por habitante), reducción de emisiones de co2 (t/año), ahorro en agua potable

(m<sup>3</sup>/año)<sup>19</sup>, disminución de residuos sólidos urbanos (t/año), disminución residuos peligrosos (t/año) y número de certificados obtenidos.

El uso de Internet en las empresas únicamente se tomó en cuenta en la dimensión de Mipymes como un proxy del uso de tecnologías disruptivas entre este tipo de empresas. La importancia de esto radica en que para estas el acceso a tecnologías disruptivas puede ceñirse al uso de aquellas asequibles por medio de servicios de internet como el cómputo en la nube. Además, dado el volumen de producción que manejan, y las necesidades logísticas y de comunicación de las empresas de mayor tamaño, es de esperar que utilicen Internet, así como otro tipo de tecnologías cuya utilización podría no depender al 100% de una red global como es el caso de la impresión 3D o la realidad virtual y aumentada.

Por otro lado, el indicador relacionado con la vinculación de la triple hélice, es decir, la colaboración entre gobierno, academia e industria, no se consideró debido a la dificultad para obtener datos sólidos que reflejen esta relación. Además, en lo formal, todas las entidades declaran que existe esta vinculación y mencionan diversas estrategias que responden a las prioridades y áreas de competitividad de cada una de ellas.

En el caso del ICI 4.0 por países, la principal dificultad radicó en la obtención de datos precisos y actualizados para las diversas variables en un marco temporal adecuado que reflejara los puntos clave según la teoría y la revisión de programas públicos. Esto se debió a que algunos países carecían de información suficiente o la presentaban de manera desigual, además de que las políticas públicas varían según los regímenes políticos de cada lugar. Algunos de las observaciones no contaban con información para todos los indicadores, lo que llevó a omitir algunas variables en la ponderación sólo en la observación en la que no se tuviese datos disponibles.

Por otro lado, una ventaja significativa en la versión nacional del ICI 40 fue que la mayoría de los datos, al provenir de organizaciones internacionales, ya se presentaban ajustados, por lo que no fue necesario hacer cálculos propios a partir de datos generalizados.

---

<sup>19</sup> Esta variable es particularmente importante ya que para el almacenamiento de grandes volúmenes de datos y el procesamiento de los mismos, se requieren de enormes granjas de servidores que utilizan grandes cantidades de agua para mantenerlos en servicio.



### 5.2.2 NORMALIZACIÓN Y AGREGACIÓN DE COMPONENTES

La normalización de datos es el procedimiento llevado a cabo a fin de hacerlos comparables dado que, generalmente, cada una de las mediciones está en una escala distinta (OCDE, 2008). Para realizar este procedimiento existen varias técnicas como la estandarización, la distancia de referencia o la ponderación por *rankings* (OCDE, 2008). Para el ICI 4.0 se seleccionó una normalización basada en los mínimos y máximos bajo la siguiente fórmula:

$$z_i = \left( \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right) 100$$

Con este método de estandarización las variables toman un valor entre cero y 100 en función de los valores que presentan con respecto al resto de las observaciones: el puntaje más bajo toma el valor de cero, el más alto toma el valor de 100 y el resto toman una calificación entre cero y 100 de manera proporcional dentro de la escala utilizada. Además de homologar las unidades, este método permite una fácil interpretación de resultados y arroja la posición relativa de cada entidad con respecto del resto a fin de establecer cuáles tienen mejores condiciones ante la I4.0. Esto es de particular importancia porque no es posible establecer cantidades óptimas o absolutas para ninguno de los indicadores que conforman este índice. Cabe señalar que, para todos los valores, más altos implica mejores condiciones.

Es importante mencionar que dentro de las variables relacionadas con el ICI 4.0 a nivel nacional, hay dos que puntúan de forma inversa, es decir, entre menor sea el valor, mejor es el resultado. En primer lugar, en la dimensión de *Mipymes*, la variable de facilidad para hacer negocios está representada en un ranking establecido por el Banco Mundial sobre las condiciones institucionales para facilitar la creación y desarrollo de negocios dentro de los países. Por otro lado, en la dimensión de *economía resiliente*, en la variable de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sectores productivos se valoran las emisiones de dióxido de carbono provenientes de los sectores productivos; entre menos emisiones, más óptimo el resultado. Para estas dos variables, la fórmula de mínimos y máximos se invirtió de modo que el puntaje se generara de manera inversa: entre menor el valor de la variable, mayor sería el porcentaje asignado en la ponderación de resultados.

En seguida se lleva a cabo la ponderación de las variables. Aunque en la mayoría de los índices se otorga un peso igualitario a cada uno de los indicadores (OCDE, 2008), para el

presente estudio se decidió ponderar algunas de las variables. Para cada indicador se aplicó una ponderación de 1 o 0.5. Esto debido a que algunos de los indicadores engloban datos que podrían tener menor impacto en el desarrollo productivo o no se vinculan de manera directa a la implementación de tecnologías disruptivas. Por ejemplo, en el caso de la matrícula STEM, no todos los graduados necesariamente se dedicarán a laborar en estas áreas. De igual forma, los centros de investigación también incluyen estudios de otro tipo, como los estudios sociales. Por lo anterior, a fin de controlar esta forma de sesgo, se optó por ponderar con 0.5 las siguientes variables:

- ICI estatal: centros de investigación, número de investigadores, financiamiento Mipymes, programas en TIC, uso de Internet y matrícula en STEM.
- ICI nacional: ICE en investigación, número de investigadores, crédito interno, Mipymes con conexión a Internet, producción industrial como porcentaje del PIB, matrícula en STEM y número de servidores seguros.

Una vez establecida la ponderación de cada indicador por separado, se agruparon de las cinco dimensiones presentadas en el capítulo II: política de ciencia y tecnología, políticas comerciales, Mipymes, políticas sectoriales y economía resiliente. La agrupación se llevó a cabo mediante la fórmula de promedio ponderado:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^k x_i w_i n_i}{\sum_{i=1}^k w_i n_i}$$

Donde:

$\bar{x}_w$  = media ponderada.

$x_i$  = valor de la variable en la observación

$w_i$  = peso asociado a la observación

$n_i$  = número de elementos en la observación

$k$  = número total de observaciones.

Es importante mencionar que cada uno de los indicadores y subíndices tiene efectos concomitantes y sistémicos, es decir, un sólo indicador alto no sería determinante por lo que

no se asume que un indicador en extremo positivo o negativo sea mejor que varias puntuaciones en un rango promedio. El desarrollo de la I4.0 es un problema complejo en donde todos los indicadores aportan para evaluar el nivel de productividad propiciado por las tecnologías disruptivas y la capacidad de adaptación de las unidades de observación. Por lo anterior, las dimensiones se ponderaron de manera uniforme, cada una con un 20% del puntaje total.

Además del *ranking* general, se agrupó a las entidades federativas o países en seis categorías siguiendo de manera parcial la propuesta del marco metodológico del ICE (IMCO, 2024). Las categorías se agrupan de la siguiente forma:

- Muy alta I4.0: entidades o países con puntajes una y media o más desviaciones estándar sobre el promedio.
- Alta I4.0: entidades o países con puntajes entre una, y una y media desviaciones estándar sobre el promedio.
- Media alta I4.0: entidades o países con puntajes de hasta una desviación estándar sobre el promedio.
- Media baja I4.0: entidades o países con puntajes de hasta una desviación estándar debajo del promedio.
- Baja I4.0: entidades o países con puntajes entre una, y una y media desviaciones estándar por debajo de la media.
- Muy baja I4.0: entidades o países con puntajes de una y media o más desviaciones estándar debajo del promedio.

## 5.3 RESULTADOS

### 5.3.1 ÍNDICE DE CONDICIONES ANTE LA INDUSTRIA 4.0 POR ENTIDAD

#### FEDERATIVA

Al revisar el grupo al que pertenecen los estados según su nivel de ICI 4.0, se observa una clara tendencia regional (ver figura 5.1). Los niveles altos de ICI 4.0 se concentran en la franja norte central del país, mientras que las regiones con niveles más bajos se encuentran en la zona sur y en la costa del Pacífico. Esta tendencia está claramente relacionada con la ubicación tanto de industrias manufactureras, como de clústeres industriales. Sin embargo,

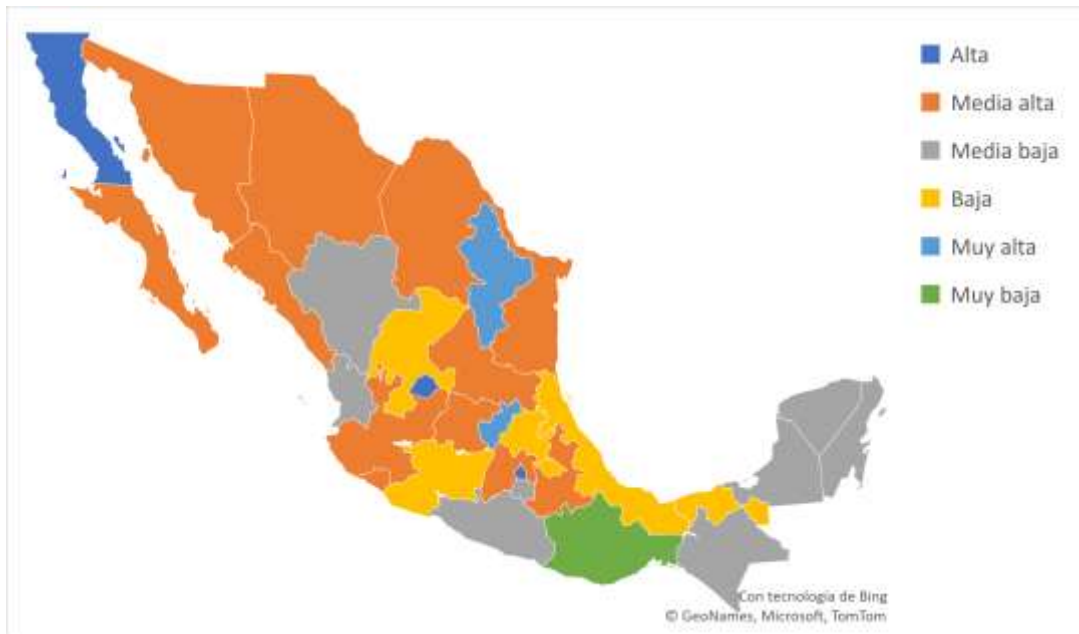
se esperaría que entidades como Chihuahua, donde existen dos clústeres industriales, el aeronáutico y el de la industria electrónica, y un consorcio vinculado al desarrollo y promoción de la I4.0 (Chihuahua Futura, 2023), tuvieran condiciones más óptimas en el desarrollo de la misma.

Sólo cuatro entidades puntúan en la franja alta o muy alta del indicador: Nuevo León, Querétaro, Aguascalientes y CDMX. Salvo esta última, el resto se caracteriza por tener importantes zonas industriales con presencia de clústeres. Sin embargo, la CDMX al ser la capital del país, por lo general tiene niveles de desarrollo más elevados que el resto de la República, puesto que ahí se concentran mayores capacidades de competitividad (IMCO, 2024).

Si bien los estados industrializados son los que tienen mayor puntuación en el índice, es importante recordar que no sólo se consideraron variables directamente relacionadas con la manufactura, sino que también se incorporaron otros elementos como el desarrollo de las Mipymes y su fortalecimiento, así como factores relacionados con CyT, investigación y matrícula en áreas STEM, aspectos que impactan en otras áreas productivas.

Es notorio que entidades con indicadores de pobreza más amplios, como Oaxaca, Guerrero o Chiapas (Coneval, 2022), son aquellas con pocos elementos para resistir a la tecnologización de los sectores productivos y los distintos elementos que aquí se revisan. Lo anterior podría implicar que las tecnologías disruptivas o el uso de Internet no es que estén creando nuevas diferenciaciones sociales, sino que están profundizando aquellas ya existentes como son las diferencias étnicas, etarias, de ingreso o de género.

Figura 5-1 ICI 4.0 estatal



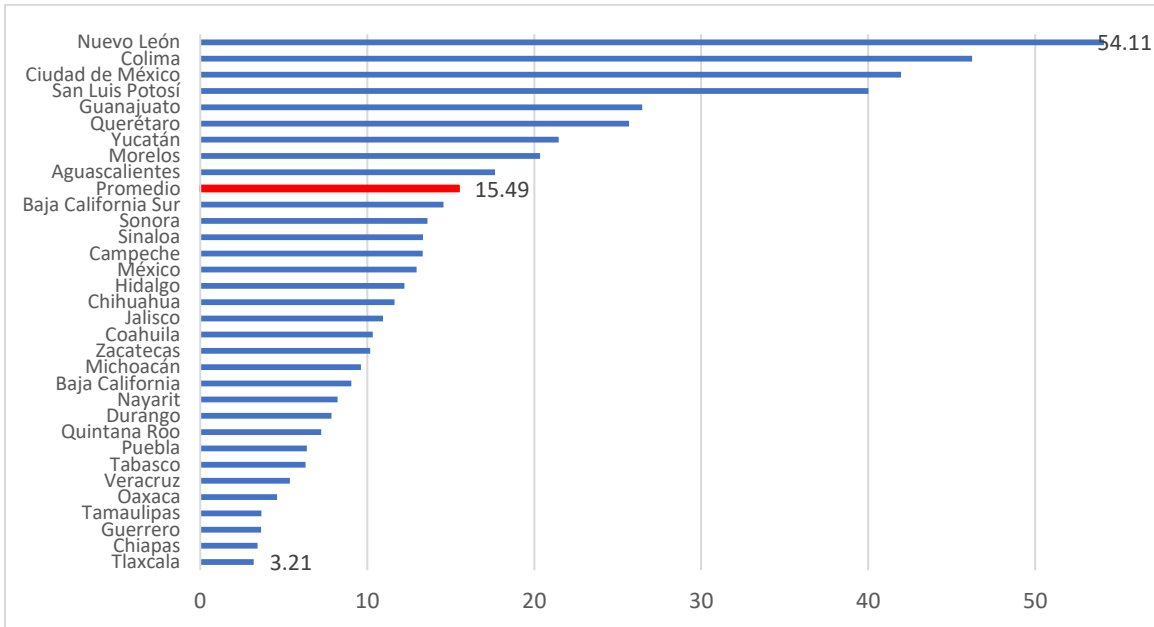
Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024.

Al analizar cada dimensión, vemos que no necesariamente son las mismas entidades las que se encuentran en los puntos más altos o más bajos, aunque hay varias coincidencias. Por ejemplo, Oaxaca suele aparecer entre los cinco últimos lugares en cada uno de los indicadores y aparece como el último lugar casi en todas las dimensiones, salvo en el caso de políticas de CyT, donde aparece con la quinta posición más baja. Lo mismo ocurre a la inversa, es decir, aquellos estados que puntúan más alto no siempre aparecen mejor puntuados en todas las categorías. Nuevo León y Guanajuato se encuentran dentro de los primeros cinco lugares en cada una de las dimensiones, aunque este último tiene la novena posición más alta.

Son las políticas en ciencia y tecnología (15.49), y las políticas comerciales (32.52) aquellas que, en promedio, presentan puntajes más bajos. Para la primera, Nuevo León, la entidad con mayor puntuación, apenas cubre un poco más de 50 puntos en una escala del 0 al 100, y en la cuestión de políticas comerciales es Querétaro con 64 puntos. Esto refleja que más allá de la búsqueda de productividad, la investigación en CyT y la generación de tecnología propia es muy limitada para cada una de las entidades federativas. Recordemos que en este punto se toman en cuenta centros de investigación, generación de patentes, entre

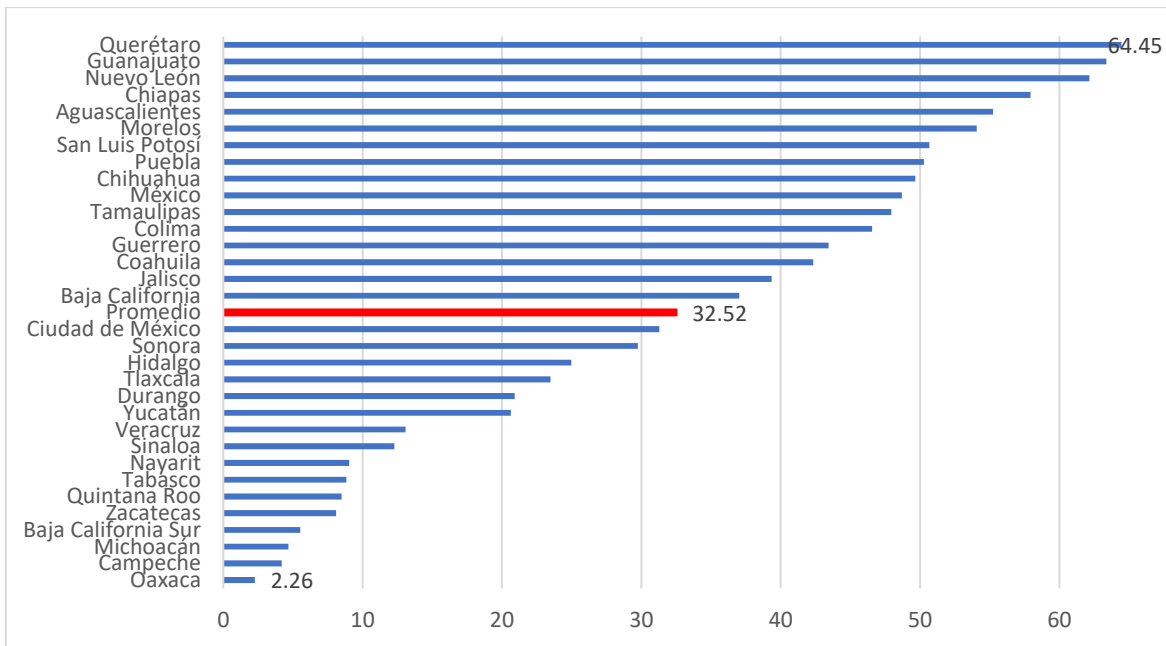
otros, cuyos valores denotan la dependencia tecnológica de las entidades federativas, dinámica que se replica en México y en la región latinoamericana.

Figura 5-2 Políticas de ciencia tecnología. ICI 4.0 estatal



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024

Figura 5-3 Políticas comerciales. ICI 4.0 estatal



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024

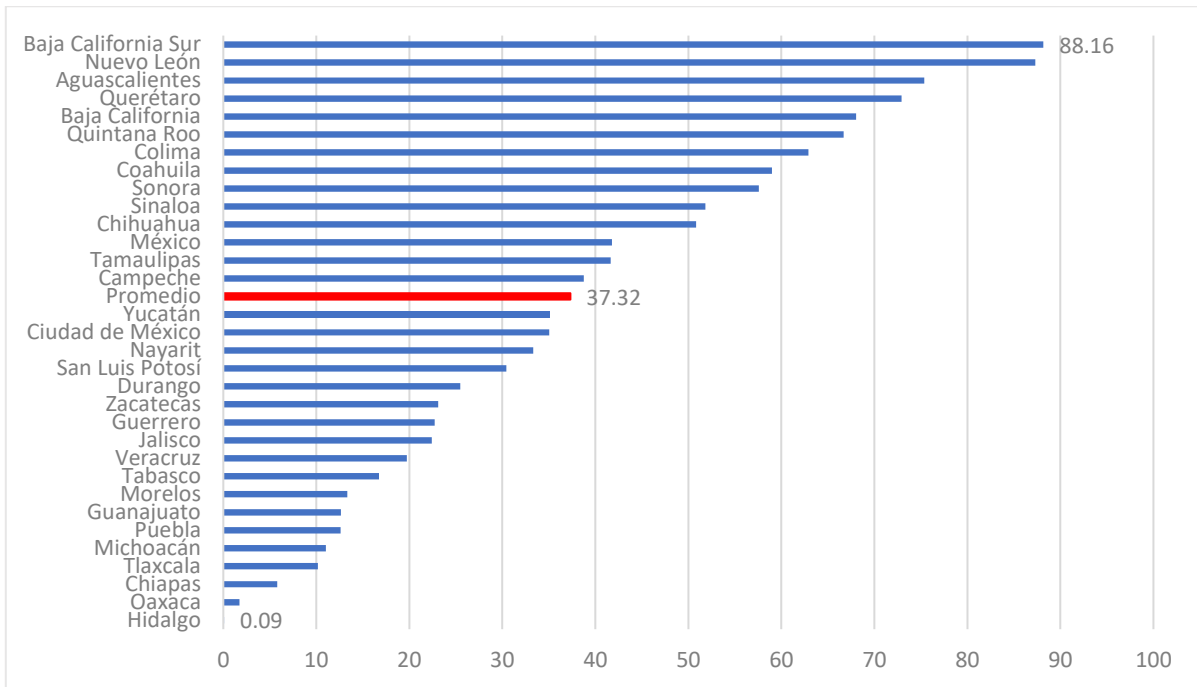
En políticas sectoriales y Mipymes, se encuentran promedios más elevados. En Mipymes, todos los PED revisados, así como los informes de gobierno de las entidades federativas señalan la implementación de programas de apoyo y financiamiento a las empresas de menor tamaño. Aunque en la mayoría de los casos los programas se quedan en el mero financiamiento sin un destino preestablecido por el propio programa, existen otros que sí especifican algún componente tecnológico, la mayoría muy básico, por ejemplo, como la adquisición de terminales para el pago electrónico o la capacitación en el uso de herramientas digitales. Más aún, de acuerdo a los datos de Inegi, el porcentaje de Mipymes que utiliza Internet para realizar compra o venta de mercancías es de alrededor del 4% (Inegi, 2024), lo cual puede deberse que buena parte son de consumo local: tortillerías, tiendas de abarrotes, etc.

En de mencionar que esta dimensión incluye la variable sobre el presupuesto destinado al impulso a las Mipymes. En un primer momento se buscó la información en los informes de gobierno, donde suelen estar desglosados estos resultados. Sin embargo, también se hicieron solicitudes de información a las distintas secretarías y entidades de la administración pública estatal para preguntar sobre los montos asignados para el fortalecimiento de este tipo de empresas.

La información obtenida entre ambas discrepaba considerablemente. Por ello, se decidió utilizar únicamente las respuestas obtenidas a través de las solicitudes de información, con el fin de mantener la consistencia de este indicador en particular. Además, esta fuente se considera más formal y robusta, ya que la información incluida en los informes de gobierno suele ser menos detallada. Cabe señalar que aquellas entidades que no especificaron el monto o generaron respuestas ambiguas en las solicitudes de información realizadas, se excluyeron del indicador por no contar con datos consistentes. Este fue el caso de: Baja California Sur, Coahuila, Colima, Estado de México, Morelos, Nayarit y Veracruz.

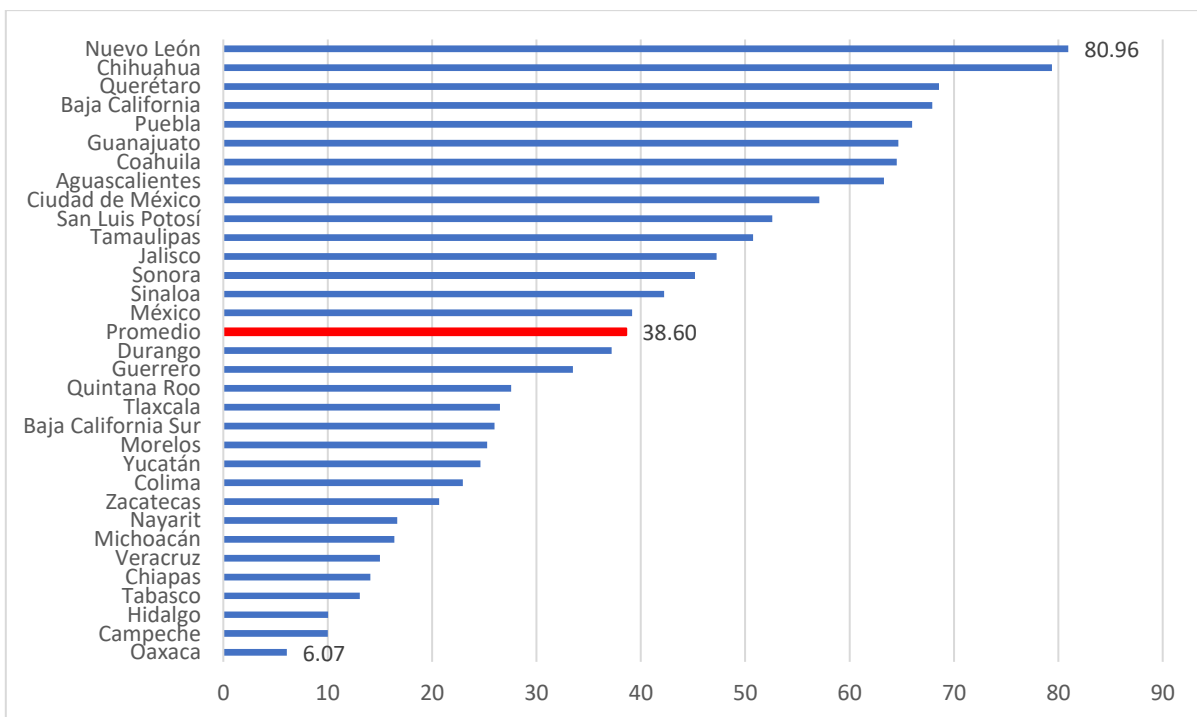
Es notable que varias entidades federativas (declararon que para el año 2021 no hubo presupuesto asignado para el desarrollo o fortalecimiento de las Mipymes. Esto posiblemente esté vinculado a que 2021 tiene características peculiares, siendo el año inmediato al periodo pandémico. Es posible que parte del presupuesto previsto para diferentes rubros se reasignara para contrarrestar los efectos de la pandemia por COVID-19, lo cual pudo afectar los presupuestos destinados al desarrollo empresarial.

Figura 5-4 Mipymes. ICI 4.0 estatal



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024

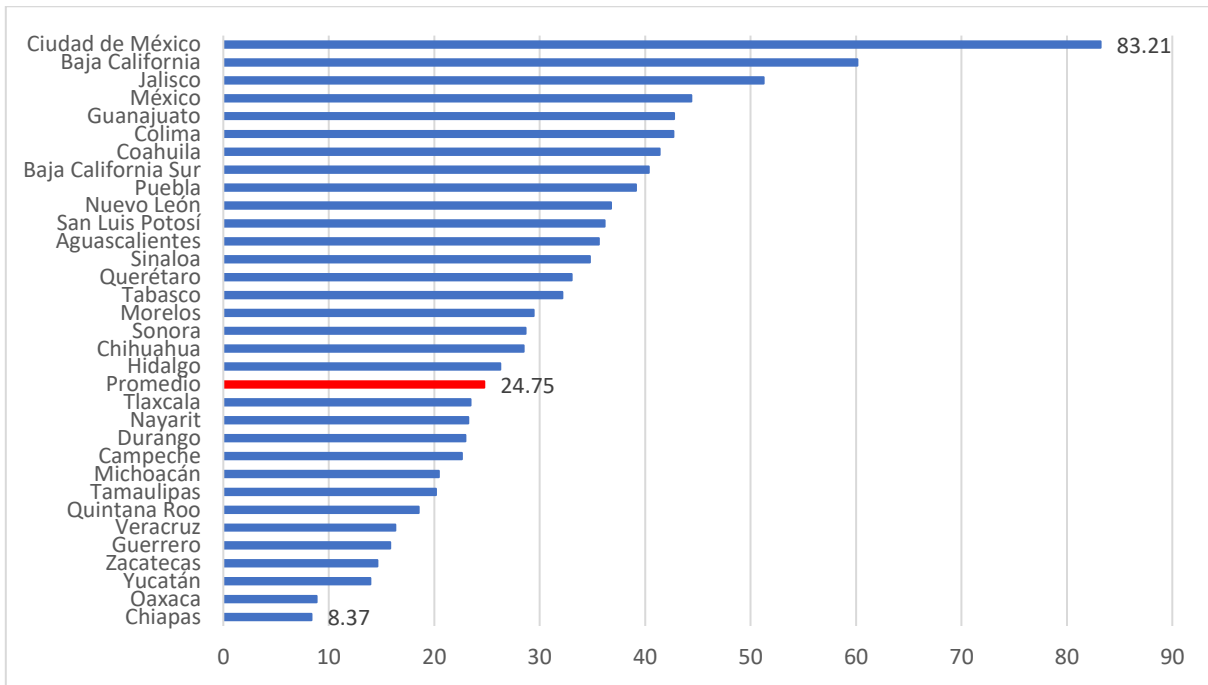
Figura 5-5 Políticas sectoriales. ICI 4.0 estatal



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024



Figura 5-6 Economía resiliente. ICI 4.0 estatal



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024.

Por otro lado, en lo que toca a la existencia de clústeres, vemos que también Nuevo León aparece con casi el 81% de los puntos posibles: son varios los clústeres que existen en la región, incluidos el farmacéutico y el automotriz, y su índice de complejidad económica es muy amplio. En cuanto a economía resiliente, todas las entidades se han sumado a establecer procesos para la industria limpia, aunque la puntuación más alta apenas se acerca al 70% de los puntos posibles para este subíndice.

Para la variable de número de clústeres, incluida en la dimensión de políticas sectoriales, se decidió no clasificarlos de acuerdo a su grado tecnológico, aunque existen algunos muy variados, como los mineros (ej. Sonora, Hidalgo), en alimentos (ej. Sinaloa), automotrices y aeronáuticos (ej. Guanajuato, Puebla, Querétaro y Nuevo León), o energéticos (Sonora y Tamaulipas). Lo anterior debido a esta diversidad y a la falta de información detallada sobre su grado de desarrollo. Además, hay diferencias considerables en cuanto al número de clústeres declarados: hay entidades que manifiestan no tener ninguno, como Durango o Nayarit, mientras que otras, como Puebla, reportan tener hasta 21. Analizar más a profundidad esta variable merecería un estudio aparte.

Tabla 5-3 Puntuación total ICI 4.0 estatal

Entidad federativa	ICI 4.0 estatal	Entidad federativa	ICI 4.0 estatal
Oaxaca	4.70	Puebla	32.000
Michoacán	12.43	Jalisco	34.240
Hidalgo	14.72	Baja California Sur	34.920
Tabasco	14.72	Tamaulipas	35.230
Zacatecas	15.19	Sonora	36.180
Veracruz	15.32	México	37.390
Tlaxcala	16.70	San Luis Potosí	38.450
Campeche	17.78	Guanajuato	41.980
Chiapas	17.92	Coahuila	43.510
Nayarit	18.09	Chihuahua	44.000
Durango	22.88	Colima	44.260
Yucatán	23.63	Baja California	48.430
Guerrero	23.83	Aguascalientes	49.440
Morelos	28.50	Ciudad de México	49.730
Quintana Roo	28.61	Querétaro	54.150
Sinaloa	31.16	Nuevo León	64.260
Promedio		31.07	

Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 estatal, 2024.

Cabe destacar que, a fin de medir la solidez del índice generado, se realizaron pruebas de correlación con variables cuyo impacto resultaría esperable de acuerdo a la experiencia y a la teoría (OCDE, 2008). Para este fin, se eligieron las variables de inversión extranjera directa (IED) e indicadores de pobreza. Debido a que el número de observaciones para el ICI 4.0 es limitado, no se cumplen los supuestos de normalidad y heterocedasticidad, por lo que se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para realizar el procedimiento. Este mide la fuerza de la asociación entre las variables y es menos susceptible a valores atípicos bajo la siguiente fórmula:

$$r_s = \frac{1 - 6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

$r_s$  = coeficiente de correlación por rangos de Spearman.

$d$  = diferencia entre los rangos ( $x - y$ )

$n$  = número de datos

Para este cálculo se consideró que:

$H_0$ : no hay asociación entre variables.

H1: hay asociación entre variables.

Rechazando la Ho con un  $p < 0.005$

Al llevar a cabo la correlación de Spearman entre la IED y el ICI encontramos que la correlación resulta significativa. En ambos casos la correlación esperada es positiva ya que mientras más se incrementan las capacidades ante el despliegue de la I4.0, es factible que la entidad resulte más atractiva para la inversión. Lo anterior quedó comprobado a partir del ejercicio estadístico realizado obteniendo una correlación de 0.420 ( $p = 0.016$ ) para cada una de las modalidades respectivamente con un nivel de significancia de 0.05.

Para el caso de los indicadores de pobreza, se utilizaron los datos de Coneval. En este sentido, se espera que estados con una infraestructura industrial más consistente también influyan en las condiciones de pobreza: si no se cumplen las condiciones más básicas de calidad de vida, no puede esperarse que haya interés en establecer unidades productivas con tecnologías más avanzadas o infraestructura digital más completa.

Se realizó una correlación entre varias dimensiones de pobreza multidimensional analizadas por Coneval y el ICI 4.0. Aunque no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el indicador global de personas bajo línea de pobreza y el ICI 4.0, se observa que de los 10 estados que más redujeron su pobreza entre 2020 y 2022, seis se encuentran entre los tres primeros lugares del índice de competencias para la industria 4.0.

Tabla 5-4 Entidades con mayor disminución de la pobreza y mayor puntaje ICI 4.0

Mayor disminución de la pobreza		Puntajes más altos de ICI 4.0	
Entidad federativa	Diferencia % 2020-2022	Entidad federativa	Valor ICI 4.0
<b>Baja California Sur</b>	-49.82	Nuevo León	68.92
Quintana Roo	-42.11	Querétaro	55.64
Baja California	-40.00	Ciudad de México	49.71
Nuevo León	-31.81	Aguascalientes	45.89
Chihuahua	-29.75	Coahuila de Zaragoza	43.67
Jalisco	-29.51	Baja California	43.23
Querétaro	-28.46	Colima	42.19
Sonora	-26.51	Guanajuato	41.69
Coahuila de Zaragoza	-26.47	Chihuahua	41.42
Ciudad de México	-25.90	San Luis Potosí	38.32

Fuente: elaboración propia con base en ICI, 2024 y Coneval, 2022.

Sin embargo, al realizar la correlación por separados de los componentes de la pobreza multidimensional, se encontró una correlación estadísticamente significativa en varios de ellos. El más consistente fue el de población no pobre y no vulnerable, que correlaciona positivamente con el ICI 4.0 con 0.5556 ( $p = 0.001$ ). Lo anterior implica que entre mejores sean las condiciones ante la I4.0, mayor será el porcentaje de población que no se encuentre en condición de pobreza ni de vulnerabilidad. Sin embargo, esto debe tomarse con cautela ya que al hacer el mismo procedimiento la correlación del ICI 4.0 con la población vulnerable únicamente por ingreso también sale estadísticamente significativa y positiva, es decir, a mayor ICI 4.0, mayor el número de personas en condición de vulnerabilidad por ingreso (0.4120,  $p=0.0212$ ). Esto podría deberse a factores vinculados con el incremento de la precarización laboral, una disminución en la mano de obra empleada y una mayor diferenciación en los salarios debido al avance tecnológico. Igualmente, la vulnerabilidad por cuestiones no asociadas al salario podría estar relacionada con la infraestructura tecnológica.

Por otro parte, la variable sobre ingreso inferior a la línea de pobreza extrema por ingresos, presenta una relación estadísticamente significativa con el ICI en sentido negativo con -0.3822 (0.0338). Lo anterior resulta esperable y consistente ya que, a más capacidades de ICI, hay una tendencia a menos población en situación de pobreza extrema.

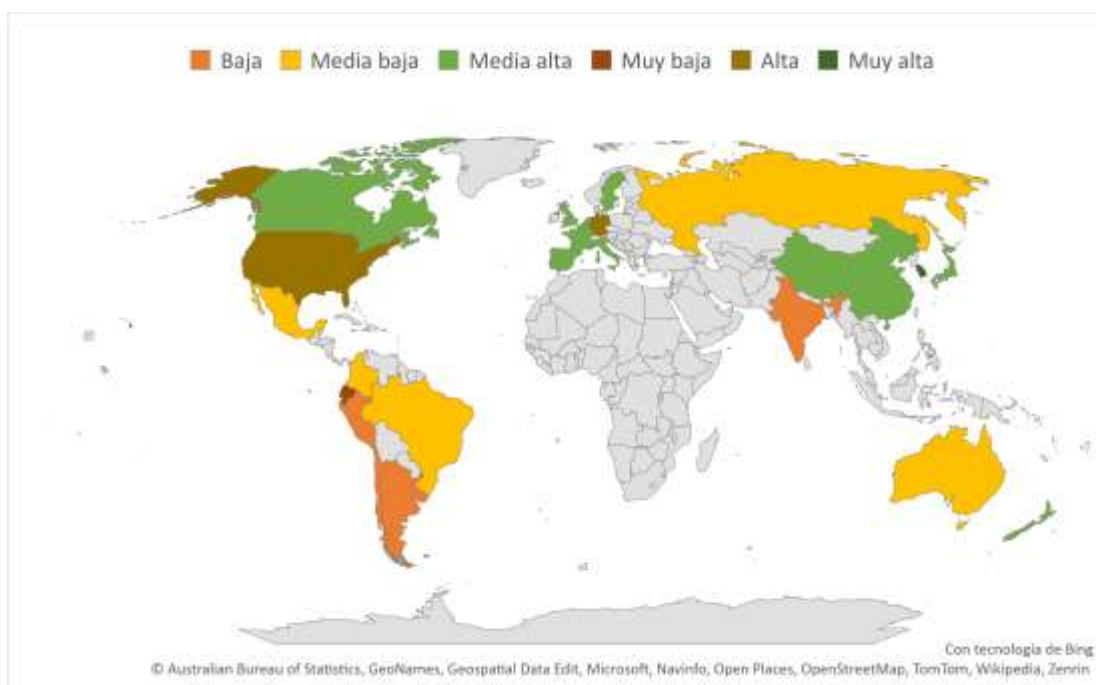
En este punto es importante destacar que el análisis correlacional realizado se llevó a cabo únicamente para medir la solidez del indicador, ya que era esperable una correlación con la IED y mayores niveles de pobreza y vulnerabilidad. Sin embargo, la revisión hecha hasta ahora no permite establecer factores causales o prever posibles resultados, sino únicamente sostener que el índice aquí presentado es consistente.

### 5.3.2 ÍNDICE DE CONDICIONES ANTE LA INDUSTRIA 4.0 POR PAÍSES

Recordemos que este indicador se basa en una comparación entre las observaciones seleccionadas. En el caso de los países elegidos para obtener el ICI 4.0 a nivel nacional, se consideraron tres condiciones para la selección de las observaciones. En primer lugar, se buscó que los países seleccionados tuvieran estrategias de política pública de fomento a la I4.0, ya sea de forma explícita o al menos mencionada de manera intencionada. Además, se

incluyeron países en los cuales existen estrategias o para la regulación de IA<sup>20</sup> esto debido a su estrecha vinculación con el desarrollo de la I4.0. Otro factor que se tomó en cuenta fue la disponibilidad de datos para el año de evaluación o años cercanos a fin de garantizar la replicabilidad del índice y su ejecución de manera robusta.

Figura 5-7 ICI 4.0 nacional



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024

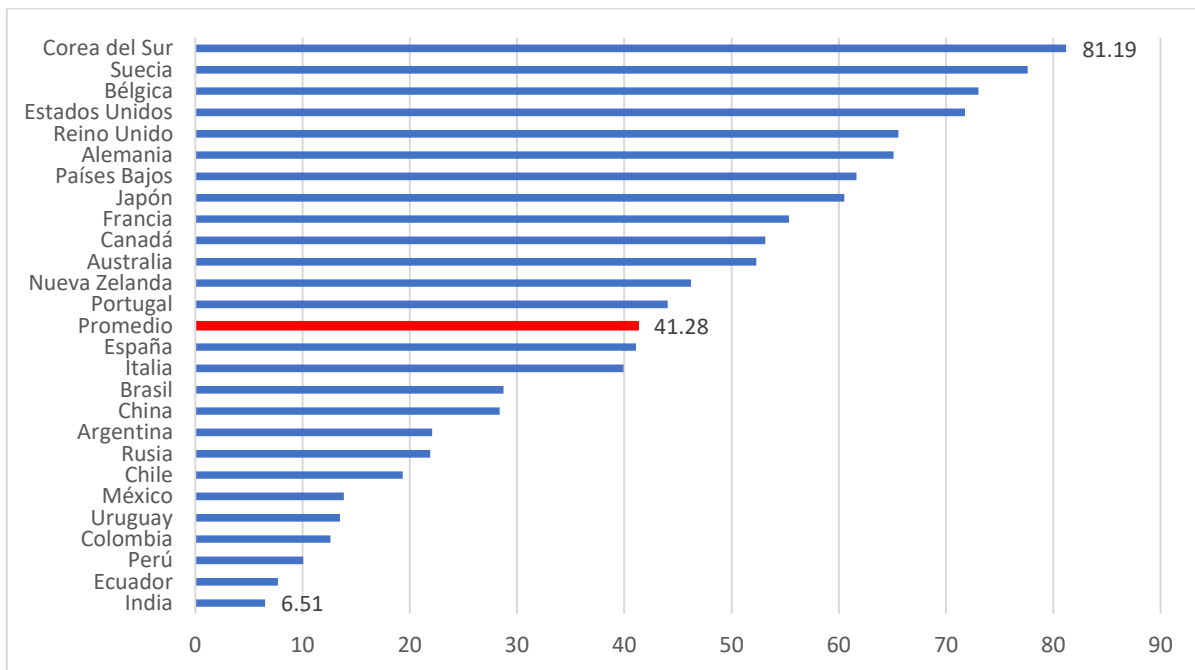
Al observar los resultados, no sorprende que los países que puntúan más alto en el índice creado sean Alemania y Corea del Sur, este último el único dentro de la categoría establecida como muy alta. Ambos países aparecen como líderes en prácticamente en todas las variables y dimensiones. En un tercer lugar se encuentra Estados Unidos, que también destaca en la mayoría de las variables. En contraste, son los países de América Latina los que obtienen porcentajes más bajos tanto en el índice compuesto como en varios indicadores individuales. De hecho, dentro de los últimos 10 lugares del *ranking*, encontramos sólo a dos países que

<sup>20</sup>Los tres países de América Latina cuyas estrategias para la implementación de la I4.0 fueron revisadas, Argentina, Brasil y México, han considerado planes o estrategias sobre el uso de la IA (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2021; Presidencia de la Nación, 2020; Presidencia de la República, 2018). Sin embargo, países como Chile, Colombia, Perú y Uruguay, que no tienen una estrategia de I4.0 explícita, sí han desarrollado algún tipo de plan o marco ético con el fin de establecer lineamientos para el uso responsable de la IA (Guio, 2021).

no pertenecen a la región latinoamericana: India y Rusia. Esta dinámica es consistente con los índices de industrialización por país en términos de manufactura y valor agregado de las mercancías (Banco Mundial, 2023). A nivel global, se da el mismo patrón que se observa a nivel nacional, donde los países centrales con alto desarrollo industrial son aquellos con mayor acceso a tecnologías y capacidad de liderazgo tecnológico.

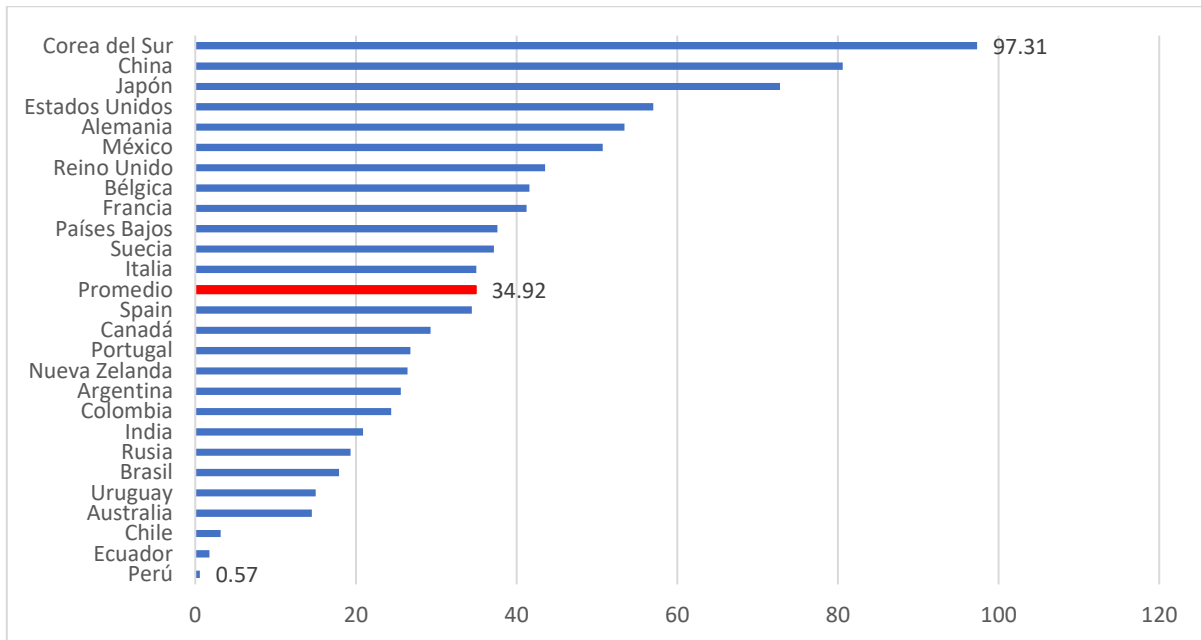
Llama la atención el caso de China, siendo uno de los países más importantes en el comercio global, no aparece entre los 10 primeros en el ICI 4.0 y apenas se cataloga en la categoría de *media alta* con una puntuación de 51.03, por encima del promedio por casi seis puntos. China sólo puntúa en los primeros lugares en las dimensiones de políticas comerciales y de MIPYMES, mientras que en el resto obtiene puntajes bastante bajos. Lo anterior puede deberse a dos factores: por un lado, el sistema político altamente restrictivo de China, y por otro, la falta de información disponible para algunas de las variables en el país asiático. Específicamente, no se encontró información sobre el porcentaje de matrículas en carreras STEM, el porcentaje de población ocupada en STEM, el porcentaje de Mipymes con conexión a internet y la información sobre organizaciones de clústeres en el país asiático.

Figura 5-8 Políticas de ciencia tecnología. ICI 4.0 nacional



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024.

Figura 5-9 Políticas comerciales. ICI 4.0 nacional



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024.

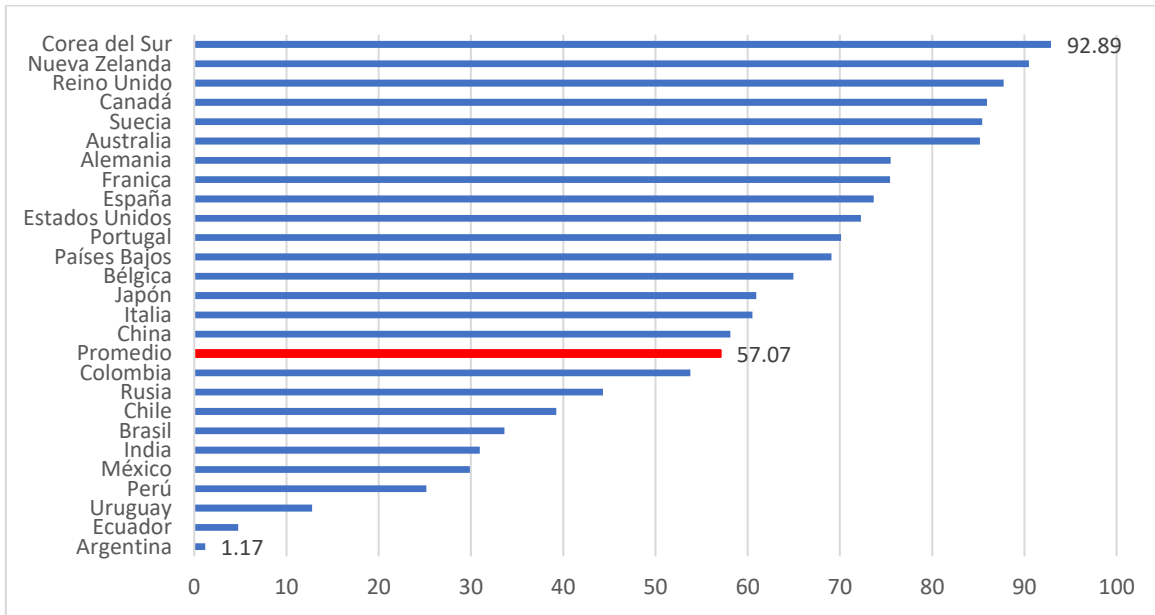
En lo que toca a la dimensión de ciencia y tecnología, encontramos una amplia variación entre los valores más altos y los más bajos fluctuando de 6.51 para el caso de India, y 81.19 para Corea del Sur. Los países de América Latina que se incluyeron en la muestra presentan índices por debajo del promedio de 41.28. Lo que reafirma un desarrollo menor en cuanto a políticas de ciencia y tecnología.

Por su parte, entre los países asiáticos, los valores encontrados son muy dispersos. Como se mencionó, India presenta la puntuación más baja en esta dimensión, mientras que China (28.38) obtiene casi 20 puntos por debajo del promedio. Por su parte, Japón (60.52) y Corea del Sur, aparecen como los únicos países no europeos dentro de las nueve naciones con puntaje más alto en esta dimensión. En esta misma línea, salvo por España (41.10), Italia (39.92) y Rusia (21.92), el resto de los países europeos considerados en la muestra se encuentra por encima del promedio, al igual que Canadá y Estados Unidos 53.16 y 71.75.

Las puntuaciones en lo que toca a políticas comerciales son bastante dispares: van desde 0.57 para Perú hasta 97.31 para Corea del Sur), lo que indica una amplia variabilidad en las variables revisadas para esta dimensión (patentes y exportaciones de alta tecnología). Por su parte, los países de Europa están por encima de la media, aunque España (34.44) y Portugal (26.78) aparecen ligeramente por debajo de la misma.

Excluyendo a México, que en esta dimensión se posiciona por arriba de la media en sexto lugar de los mejor puntuados para esta dimensión, son en su mayoría países de América Latina los que se posicionan en los lugares más bajos. Por el contrario, la región de Asia se encuentra en las primeras posiciones con puntajes para Corea del Sur (97.31), China (80.60), y Japón (72.78) muy por encima de la media de 34.92.

Figura 5-10 Mipymes. ICI 4.0 nacional

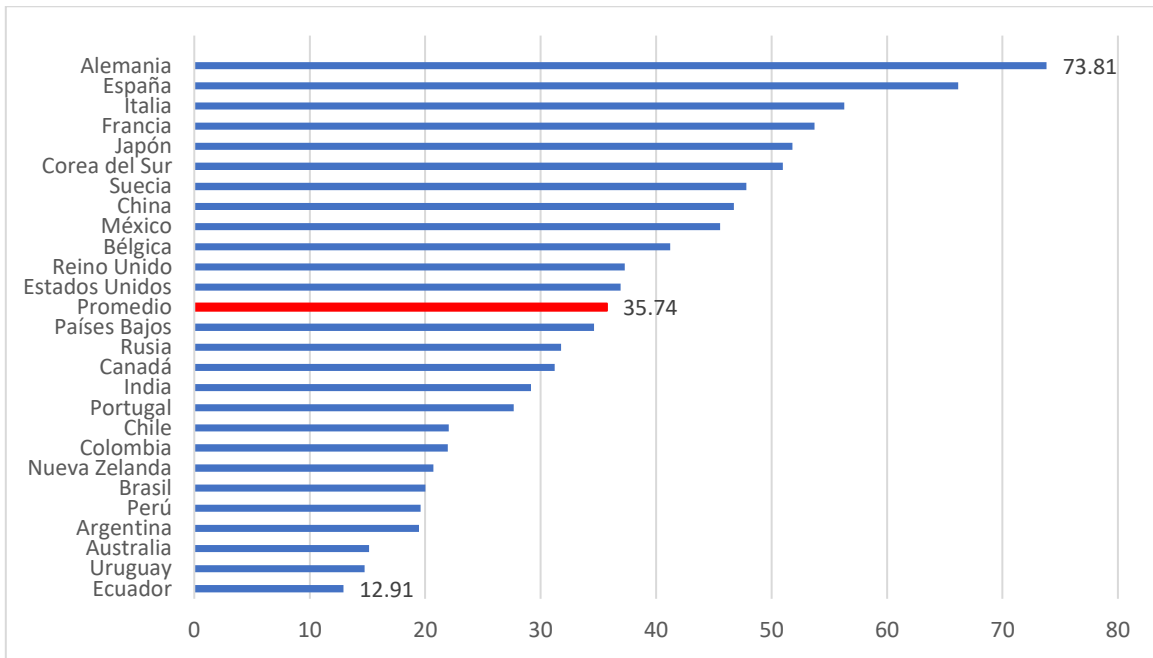


Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024

En lo que toca a la dimensión de Mipymes, Corea del Sur encabeza la lista con 92.899, seguido de Nueva Zelanda con 90.50, Reino Unido (87.76) y Canadá (85.94). De nueva cuenta encontramos que las puntuaciones más bajas pertenecen a la región latinoamericana enmarcando a todos los países de esta zona por debajo del promedio de 57.07, siendo Argentina el país que presenta el puntaje más bajo de 1.17. En contraparte, la gran mayoría de los países europeos incluidos en la muestra están por encima de la media, al igual que los países asiáticos, aunque siendo China apenas la sobrepasa con poco más de un punto porcentual.

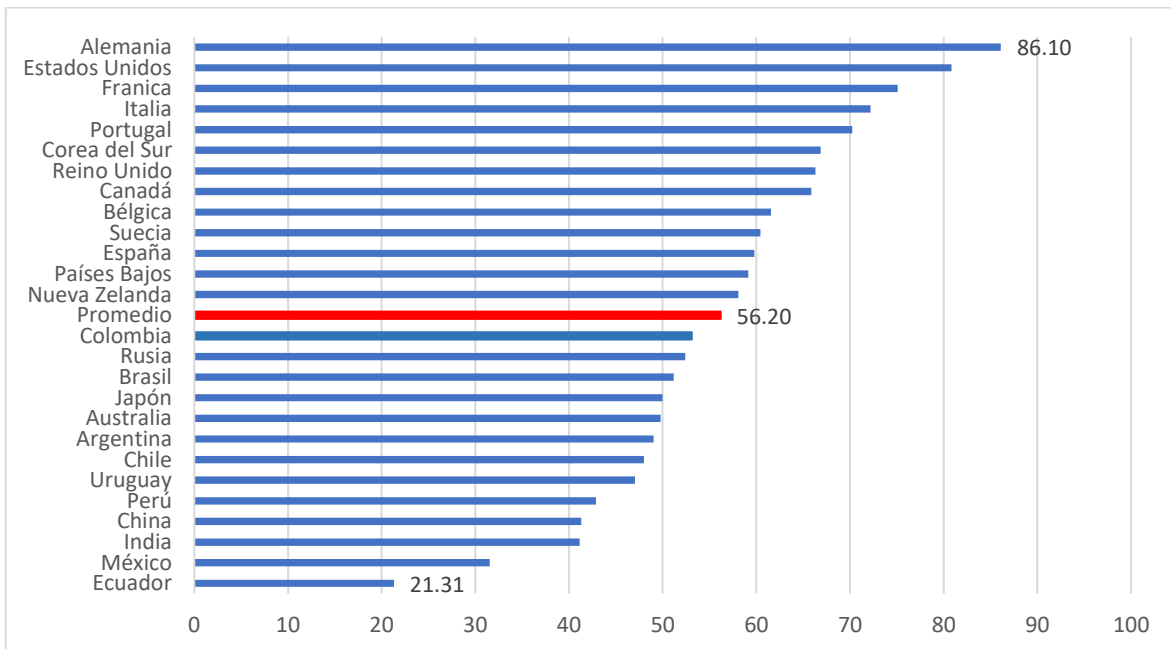


Figura 5-11 Políticas sectoriales. ICI 4.0 nacional



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024

Figura 5-12 Economía resiliente. ICI 4.0 nacional



Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024

Las dimensiones de políticas sectoriales y economía resiliente comparten algunos rasgos: en ambas categorías el puntaje más alto lo obtiene Alemania (73.81 y 86.10 respectivamente) y el más bajo Ecuador (12.91 y 21.31 en el mismo orden). Estas dimensiones son las que tienen una desviación estándar menor: 16.63, para políticas sectoriales, y 14.79 para economía resiliente, aunque el promedio es considerablemente más alto en esta última (56.20).

La misma dinámica que en las anteriores se repite en estas dimensiones: es América Latina la región que tiene los puntajes más bajos. En el caso de políticas sectoriales, México es el único país de la región que supera la media de 35.74 por 10 puntos porcentuales aproximadamente. En el caso de economía resiliente ningún país de la región se ubica por encima de la media, siendo Colombia el que más se acerca con una puntuación de 53.11.

Igualmente, son los países europeos los que destacan en ambas dimensiones. EN lo que toca a políticas sectoriales, además de Alemania, España (66.17) e Italia (56.30) se posicionan en los tres primeros, aunque esta dimensión destaca porque los primeros puntajes son los más bajos de todas las dimensiones; ninguno de los países de la muestra supera los 75 puntos. En el caso de economía resiliente, si bien hay una preponderancia de los países europeos en los primeros lugares, encontramos a Estados Unidos en la segunda posición con 80.82 puntos.

Tabla 5-5 Puntuación total ICI 4.0 nacional

País	ICI 4.0 nacional	País	ICI 4.0 nacional
Ecuador	9.69	China	51.03
Perú	19.65	Países Bajos	52.41
Uruguay	20.61	Italia	52.78
Argentina	23.46	Canadá	53.09
India	25.73	España	55.03
Chile	26.35	Bélgica	56.47
Brasil	30.29	Japón	59.20
Colombia	33.17	Reino Unido	60.09
Rusia	33.95	Francia	60.16
México	34.30	Suecia	61.70
Australia	43.37	Estados Unidos	63.76
Portugal	47.77	Alemania	70.79
Nueva Zelanda	48.39	Corea del Sur	77.85
Promedio	45.04		

Fuente: elaboración propia con base en ICI 4.0 nacional, 2024

## 5.4 ALGUNAS REFLEXIONES

Normalmente, el nivel de industrialización se evalúa a través de la producción manufacturera, pero este índice abarca más que eso, incluyendo el uso general de tecnología en las unidades productivas. Este uso recae principalmente en las Mipymes, que constituyen el 90% de la población económicamente activa a nivel mundial (Dini, 2022). Existe una relación directa entre la tecnología utilizada y el nivel de industrialización, independientemente del tamaño de las empresas.

Uno de los desafíos principales al crear un índice de este tipo es la falta de información sobre el uso de tecnologías disruptivas por parte de las empresas. La variable más directa disponible es el uso de internet para transacciones comerciales, pero se desconoce si se emplea de otras formas, como en servicios de cómputo en la nube o procesamiento de datos. La falta de información impide saber si las Mipymes, y las empresas de mayor tamaño, utilizan tecnologías disruptivas como el análisis de *big data*, la IA, la impresión 3D o los sistemas ciberfísicos.

En esta misma línea, se han observado discrepancias entre las fuentes oficiales federales y las presentadas por las entidades federativas en cuanto a la información recopilada. Al hacer solicitudes de información, prácticamente todos los estados manifestaron que las Secretarías de Economía o el Gobierno Ejecutivo de las entidades eran organismos no competentes para informar sobre el gasto en CyT, y toda la información sobre el tema era manejada por los consejos de CyT, aun cuando en la clasificación funcional del gasto por finalidad y función, este rubro se encuentre en la categoría de desarrollo económico. Cabe mencionar que dentro de los pocos casos donde no ocurrió esto están Yucatán y Tlaxcala, donde no existen estos consejos, y fueron las Secretarías de Economía y de Innovación las encargadas de resolver las solicitudes de información.

Más aún, al revisar la cuenta pública de cada entidad, se observa que es el poder ejecutivo del estado el que devenga el presupuesto asignado a ese rubro o en su defecto los consejos de CyT. Sin embargo, en las solicitudes de información, fueron varias las entidades que declararon no tener información sobre el presupuesto en CTI vinculado al desarrollo económico.

En el caso del ICI 4.0 nacional, observamos que la dinámica es muy similar a la del entorno local: aquellos países caracterizados por tener un alto índice de desarrollo global son

los que presentan mayores puntuaciones en cada una de las dimensiones del indicador establecido. Además, las diferencias regionales son sumamente notorias. En prácticamente todos los casos, América Latina aparece con las puntuaciones más bajas, mientras que los países europeos tienden a estar por encima de la media. En el caso de Asia, hay mayores diferenciaciones: Corea del Sur generalmente aparece mejor evaluado, mientras que otros países como India no alcanzan puntuaciones altas en todos los indicadores.

El caso de China es especialmente notable, ya que se esperaba que tuviese una puntuación más alta. Sin embargo, como se mencionó previamente, hay poca o nula información disponible para algunos de los indicadores tomados en cuenta en el índice propuesto. En particular, no fue posible rastrear información sobre el número de matrículas y egresados en materias STEM, así como otras variables que afectan al indicador. El cálculo se hizo únicamente con los datos disponibles, lo cual afectó la calificación final del país asiático.

Cabe mencionar que en el caso del ICI 4.0 por país, la obtención de información consistente fue aún más complicada que a nivel nacional, debido a la falta de homogeneidad en los datos. Como se mencionó, para varios países no se encontró información completa, y los proxies utilizados podrían no ser tan propicios como en el caso nacional.

Es importante mencionar que, al igual que en el caso mexicano, el régimen político es un factor que influye significativamente en el desarrollo de las políticas industriales. Como se ha mencionado en varias ocasiones, en México no se ha desarrollado una estrategia nacional que coordine las estrategias de política nivel nacional, sino que han sido las entidades federativas las que han ejercido esta función. Es posible suponer que esta misma dinámica ocurra en otros países respondiendo a diferencias propias de su régimen político y sus estructuras sociales, económicas y hasta culturales. Es posible que un indicador compuesto, en especial en países con amplias diferencias y desigualdades internas, no refleje del todo lo que ocurre al interior de los países ni las diferenciaciones regionales.

El indicador que aquí se propone sí muestra una panorámica comparativa a nivel global, considerando a las naciones como unidades. Si bien no profundiza en las particularidades internas de cada país, lo cual podría ser objeto de futuras investigaciones, ofrece una visión general de la posición de estas naciones a nivel global. Como todo valor numérico generalizador, el índice desarrollado enfrenta limitaciones, entre ellas que hay

aspectos difíciles de medir y la mayoría de los indicadores utilizados funcionan como proxys. A pesar de esto, el ICI 4.0 revela diferencias regionales significativas entre las entidades y los países con distintos niveles de desarrollo resaltando que la tecnologización en áreas productivas profundiza desigualdades y vulnerabilidades sociales preexistentes.

## CONCLUSIONES

Conceptos como *Smart Manufacturing*, *Smart Industry*, *Internet Industrial* o *Smart Factory* están estrechamente relacionados con la noción de I4.0. Estos términos hacen referencia al uso de tecnologías disruptivas en los procesos de producción desde un punto de vista técnico. En el trabajo de investigación presentado se aborda el término no sólo desde la perspectiva técnica predominante en la mayoría de las investigaciones, sino también se examinan sus implicaciones en cuanto al desarrollo productivo de las entidades y países, y sus capacidades para hacer frente a las implicaciones de la alta tecnologización de la industria y los sectores productivos. Del mismo modo, se analiza el componente de políticas públicas, elemento fundamental en el desarrollo de la I4.0 ya desde que el término se introdujo en la feria de Hannover de 2011.

La presente tesis aborda las implicaciones de la intervención estatal en la política pública para la implementación de la I4.0. Los objetivos principales de este trabajo incluyen una revisión teórica sobre la relación entre desarrollo, y ciencia y tecnología, siendo esta última el principal sustento de la I4.0, la cual se caracteriza por su alto nivel de tecnologización, es decir, su vínculo con las llamadas tecnologías disruptivas como IoT la IA y sobre todo la hiperconectividad entre las distintas etapas del proceso productivo.

De inicio, se lleva a cabo un análisis histórico en el cual se revisan los conceptos de revoluciones tecnológicas e industriales, destacando cómo cada una de estas ha transformado la producción no sólo en términos cuantitativos, sino también en sus implicaciones más allá de la industria y los procesos productivos. Se encuentra que las dos últimas revoluciones industriales, basadas en las TIC y la conectividad, no dependen de un nuevo proceso de energía, sino de un nuevo tratamiento de la información.

Asimismo, la cuarta revolución industrial se caracteriza por la amplia reducción de los tiempos de producción y el acortamiento del espacio físico a través del uso de entornos virtuales. Además, para entender la cuarta revolución industrial, no podemos limitar nuestro análisis al sector manufacturero o industrial, sino que también debemos revisar aquellos sectores productivos vinculados a los servicios, que han surgido a partir del uso masivo de tecnologías disruptivas propias de la I4.0.

En este sentido, el uso del concepto de política industrial, dadas las condiciones del desarrollo económico contemporáneo, podría resultar algo arcaico para analizar los procesos productivos actuales, ya que gran parte de estos no se llevan a cabo necesariamente en el sector manufacturero. Esta discusión se ha dado en diferentes espacios y foros (Forum New Economy, 2024; Galbraith, 2024; Mazzucato & Rainer, 2024) y resulta de interés para futuras investigaciones. Si bien no ha sido objetivo de esta tesis profundizar en esta discusión, sí se ha optado por retomar el concepto de PDP propuesto por Dini para analizar las políticas públicas que buscan fomentar el desarrollo y la implementación de la I4.0, al ser este un término más amplio y complejo que refleja de manera más adecuada las condiciones de los mercados actuales.

De acuerdo con Dini, hoy en día toda PDP es necesariamente una política de I4.0, aunque esta no siempre se manifiesta de manera explícita en los programas de política pública. En el desarrollo de este trabajo se lleva a cabo un análisis documental en casos distintivos de países que incluyen el término dentro de sus programas de PDP. Fueron seleccionados los casos de Alemania, Estados Unidos, Japón y China, ya que cada uno de estos tiene características particulares en sus procesos.

En el caso de Alemania, es debido a que a la política pública presentada en la feria de Hanover de 2011 está orientada al desarrollo de las Mipymes es la que dio origen al término I4.0. En Estados Unidos, se destaca la alta participación de las empresas privadas en el desarrollo de las estrategias en pro de la I4.0. China se distingue por su planificación a largo plazo para convertirse en el líder mundial en la producción manufacturera inteligente. Japón, por su parte, incluye el uso de tecnologías propias de la I4.0 en mejoras en la política social y la calidad de vida.

En el caso de América Latina, se incluyen los casos de México, Brasil y Argentina, por ser los únicos que, en algún punto de su desarrollo, ya sea de manera continua, discontinua o en proceso de implementación, han incluido estrategias de política para propiciar el desarrollo de la I4.0 dentro de sus planes estratégicos federales. Estos tres países comparten una estructura política federal y presidencial, característica que sin duda modifica la forma en la que se desenvuelven las políticas públicas.

En América Latina, y en particular en México, gran parte de la PDP se lleva a cabo a través de las entidades federativas. Por esta razón, se decidió profundizar en el caso de

México, analizando las manifestaciones sobre la I4.0 o la tecnologización desde las entidades federativas en los PED como principal mecanismo de planeación de los estados.

En el capítulo cuatro, se exponen las principales reglamentaciones vinculadas con las dimensiones propuestas por Dini para la política de desarrollo productivo en México, considerando que este es un sistema federal. Además, se realiza una revisión de los diferentes PED para evaluar cuáles de ellos incluyen objetivos para implementar la alta tecnología en los procesos productivos.

En este sentido, se observa que aquellos estados en donde la industria o la manufactura ya son relevantes para su economía, como Guanajuato, Nuevo León, Aguascalientes y Querétaro, incluyen en sus PED menciones a la I4.0, la manufactura inteligente o el uso de tecnología para potenciar el desarrollo industrial. Igualmente, se observa que los estados históricamente más marginados y con mayores índices de pobreza, tienden a omitir la inclusión de tecnología en sus planes, o la mencionan sólo para satisfacer necesidades básicas como el uso de internet a nivel individual.

Esto corrobora que la tecnología no está generando nuevas desigualdades, sino exacerbando las ya existentes, beneficiando únicamente a las regiones que ya contaban con ciertos privilegios. En este sentido, el uso de tecnología como nuevas capacidades necesarias para la incorporación de las personas al mercado productivo limita el acceso al mercado laboral de personas en edades productivas cuando estas no cuentan con la materia básica de conexión (infraestructura y dispositivos) ni tampoco habilidades formadas en la materia. Lo anterior indica que, de inicio, buena parte de la política pública debería orientarse a emparejar el piso tecnológico. Sin embargo, cuanto más tecnologizada esté la industria, los procesos productivos y el mercado laboral, más difícil será alcanzar la igualdad o la equidad social en este ámbito, ya que se trata de procesos que implican una brecha cada vez más amplia de conocimiento.

Esta misma dinámica queda manifiesta al aplicar el ICI 4.0 tanto a nivel global como nacional. Uno de los objetivos de esta tesis fue la creación de un indicador compuesto que midiese las condiciones actuales ante la I4.0. Las dimensiones del ICI 4.0 se tomaron a partir de la clasificación de Dini sobre los componentes de la PDP remplazando el correspondiente a ESS por el de economía resiliente, debido a las características propias de la temática. Las variables para cada una de estas dimensiones se eligieron de acuerdo a la propuesta ya



mencionada y a los elementos señalados en las estrategias nacionales para la I4.0 y los PED analizados.

El ICI 4.0 se generó para países y entidades federativas. A pesar de que se trató de utilizar variables lo más parecidas posible para mantener la naturaleza y el alcance del índice, se tuvieron que hacer algunas adecuaciones para cada uno de las vertientes. Sin embargo, los resultados obtenidos son similares: tanto en entidades federativas como en países aquellos más tecnologizados, con índices de desarrollo elevados y menores niveles de pobreza y marginación, son los que muestran mayores niveles de tecnologización y preparación ante la I4.0. Los países conocidos por tener altos niveles de desarrollo y amplias capacidades tecnológicas, industriales y productivas, son los que obtienen un indicador mucho más alto. Por ejemplo, Alemania y Corea del Sur presentan los valores más elevados en cada una de las dimensiones y en el índice general. En contraste, la región latinoamericana aparece con indicadores más bajos.

Como se describe en el capítulo V, que la selección de los países se basó en si contaban o no con un marco de política pública conocido para implementar tecnologías disruptivas en los sectores productivos. Aunque también se incluyeron algunos países que, pese a no tener una política pública específica sobre I4.0, la mencionaban como una intención o tenían proyectos para el control legal de la IA, una de los pilares de la I4.0. Asimismo, se ponderó el acceso a redes 5G o el número de estas, ya que la conectividad es uno de los factores más relevantes para el desarrollo de la I4.0. Del mismo modo, se midió la robustez del ICI 4.0 haciendo correlaciones con variables en las que se esperaba que tuviese algún impacto, y los resultados fueron consistentes con las expectativas.

Uno de los principales hallazgos de esta investigación es el hecho de que las diferencias tecnológicas no están generando una nueva diferenciación social, sino que están profundizando las preexistentes. El hecho de que en algunas regiones o países se tenga un mayor acceso a la tecnología implica que el acceso a otros medios más básicos, como la alimentación y la educación, ya estaba mejor cubierto en comparación con aquellos lugares donde estos recursos eran deficientes. En última instancia, la extensión de las diferenciaciones sociales en relación con la tecnología responde a una amplia brecha preexistente en cuanto a infraestructura social se refiere.

Los resultados sugieren la existencia de un círculo vicioso en el que la infraestructura social deficiente genera insuficiencia de la infraestructura y de las capacidades tecnológicas, lo que a su vez provoca un mayor déficit en la infraestructura social. Hoy en día, la falta de una conexión estable y eficiente genera desventajas tanto a nivel individual como colectivo frente a individuos o regiones que cuentan con medios tecnológicos más sofisticados y efectivos. Un ejemplo de esto es el uso de la IA como una herramienta de apoyo en los procesos productivos ya crea una ventaja significativa para aquellos que saben cómo usarla y trabajar con ella.

Dado que tanto las entidades federativas como los países definen sus prioridades e intereses principales, es claro que aquellos más vinculados con la tecnología y los procesos de desarrollo tecnológico, debido a su dependencia de la manufactura, serán los que estén más interesados en gestionar programas y destinar recursos para la generación, implementación y uso de nuevas tecnologías. En este sentido, es esperable que los lugares donde se priorizan necesidades mucho más básicas destinen sus recursos y esfuerzos a cubrir las mismas, aunque esto siga ampliando las diferencias tecnológicas y, como ya se mencionó, genere una mayor disparidad social.

El presente trabajo ofrece un mapeo general y abre el espacio para un análisis mucho más profundo, especialmente de las implicaciones de programas específicos tanto las entidades federativas como en los países. En la generación de políticas públicas sería de gran valor revisar el impacto de dichos programas sobre el desarrollo productivo. Igualmente, sería pertinente retomar los trabajos realizados por la CEPAL para complementar la dimensión de economía resiliente sobre todo en lo concerniente a nivel local. Esto podría incluir el análisis del porcentaje de la población económicamente activa que puede ser automatizable hoy en día y hacer una prospectiva para los próximos años, dado el avance de tecnologías como la IA generativa.

La principal limitación encontrada para realizar el análisis fueron las restricciones en la información disponible sobre el uso de tecnología en los sectores productivos. A pesar de revisar algunos índices preexistentes, como el índice de competitividad del IMCO o los indicadores de los ODS, estas no se vinculan completamente con el uso de tecnología en las unidades económicas.

La mayoría de los indicadores sobre la I4.0 están enfocados desde la perspectiva de las empresas y al interior de las mismas, recolectando datos que se mantienen en el ámbito privado y que se utilizan principalmente para incentivar el desarrollo de las empresas o unidades económicas a nivel individual. En cuanto al desarrollo de los países y estados, y el uso de tecnologías para la industria y el desarrollo productivo, los datos son escasos y poco transparentes. Muchos de estos se generan desde iniciativas privadas, algunos no están actualizados o son *proxys* no muy certeros.

En el plano nacional, encontramos que la Esidet, que incluía el uso de nanotecnologías, aplicada por el INEGI, dejó de realizarse desde 2017, probablemente porque ya no respondía a las prioridades nacionales. Los módulos relacionados con el uso de tecnologías en general, tanto en México como en el mundo, se enmarcan únicamente en el uso a nivel individual o por hogares, y su alcance en lo productivo es muy limitado.

A nivel generalizado, se encontraron datos sobre el uso de internet en las empresas, pero no queda claro para qué se utilizó, si fue para fines productivos o netamente comerciales, con un bajo impacto económico. Por ejemplo, los datos del INEGI mencionan que cerca del 40% de las empresas en México utilizan internet para compras y ventas en línea, mientras que los datos revisados de la OCDE indican que el 98% de las empresas en México usan internet. Esta inconsistencia de los datos no es única del tema relacionado con tecnología e industria y probablemente ocurre con muchos otros indicadores y datos, y aunque estas pueden deberse a cuestiones técnicas como la forma de preguntar o la muestra utilizada para los levantamientos, el hecho de que no haya tanta información disponible enfocada en el fenómeno industrial y la tecnología, al menos de manera pública y abierta, limitan los estudios en la materia.

Asimismo, no fue posible profundizar en el uso de tecnologías disruptivas específicas en el contexto industrial ni en el acceso a las mismas. Esto se debe a la falta de información disponible en fuentes públicas y a la ausencia de encuestas, tanto a nivel nacional como internacional, accesibles al público en general, que indaguen o realicen observaciones sobre el uso de tecnologías disruptivas propias de la I4.0 en el entorno económico. Sería crucial incluir estas variables en futuros estudios y encuestas dirigidas a los sectores productivos.

La falta de encuestas o datos formales y públicos, consistentes y robustos sobre el uso de tecnologías por parte del sector productivo, y la falta de transparencia y accesibilidad de

esta información, aumentan las dificultades para obtener datos consistentes y robustos. Además, el nivel tecnológico de las diferentes empresas es difícil de reconocer debido a la forma en la que se agrupa la información en sectores amplios, lo cual varía dependiendo de la fuente de información. En la mayoría de los casos, no se especifica a qué se dedican estos grupos, salvo en sectores muy específicos como los servicios financieros. Si bien a información sobre el nivel tecnológico de las entidades federativas se encuentra desagregada en el INEGI y podría ser solicitada mediante el laboratorio de datos, pero esto requiere un análisis más profundo que queda para futuras investigaciones.

La hipótesis planteada de inicio sugiere que las políticas públicas orientadas al desarrollo industrial y productivo profundizan las diferenciaciones preexistentes en lugar de generar un crecimiento más equitativo. Esta hipótesis se confirma y se visibiliza en el trabajo de investigación presentado, más aún, considerando que son los propios países y entidades federativas los que deciden sus prioridades, y orientan sus recursos hacia la generación de mayores capacidades en áreas donde ya eran previamente competitivos: si no se consideran productivos en aspectos de tecnologización industrial, es muy poco probable que se destinen recursos estatales al crecimiento de esta área. En su lugar, la mayoría de los recursos públicos se dirigirán hacia aquellos sectores donde el estado o país se considere más competitivo.

La pregunta central de esta investigación se refiere a los efectos de la intervención estatal a través de políticas públicas de desarrollo productivo en el despliegue de la I4. A pesar de que las políticas públicas que orientan el desarrollo productivo y comercial a nivel nacional deberían generar un desarrollo más equitativo, las diversas estrategias de política enfocadas en el despliegue de la I4.0, estas no consideran herramientas cuyo objetivo sea mitigar los posibles efectos negativos de la alta tecnificación en las industrias, lo cual va desde los posibles efectos al medio ambiente hasta la profundización de la inequidad social.

En el caso de México, no ha habido políticas nacionales consistentes que orienten el desarrollo industrial o productivo, aunque sí surgió una estrategia sobre la I4.0 que quedó en ciernes. Dicha estrategia omitió la importancia de las políticas públicas a nivel de las entidades federativas: históricamente, han sido estas las que han orientado la mayor parte del desarrollo productivo del país. Esta situación ha provocado una mayor profundización de las diferencias regionales, como se ha revisado y verificado a través del análisis documental y la aplicación del ICI 4.0.

El hecho de que no exista una estrategia industrial nacional, independientemente de si está enfocada en la tecnologización o no, provoca que la dirección de cada uno de los estados siga líneas completamente distintas. Esto se contrapone con un desarrollo regional y nacional coherente y estructurado, ya que cada entidad apunta hacia objetivos muy dispersos. Un ejemplo claro de esto fue lo observado mediante la búsqueda y las solicitudes de información respecto al presupuesto asignado para Mipymes: los programas son muy variados y van desde la asignación de terminales de compra, hasta programas relacionados con el etiquetado y la inclusión de tablas nutrimentales en diversos productos.

Si bien es cierto que cada entidad tiene sus prioridades y conoce sus problemáticas, el hecho de que existan líneas de acción globales que puedan incluirse en sistemas de planeación flexibles y adaptables a las necesidades de cada entidad es fundamental para un desarrollo compartido: es crucial que se establezcan direcciones conjuntas con el fin de disminuir la profundización del crecimiento desigual; tan importante es conocer las fortalezas de cada entidad, como el atender sus debilidades o áreas de oportunidad.

Para el caso mexicano, encontramos que todos los programas deben alinearse con el principal documento rector de la planeación nacional, que es el PND. Aunque las entidades federativas tienen sus propios instrumentos de planificación, los cuales suelen enfocarse en reforzar los aspectos en los que ya son competitivas y se hace poco esfuerzo en mejorar aquellos elementos en los que la entidad no está tan fortalecida. Por ejemplo, los estados caracterizados por su alta industrialización orientan su planeación a fortalecerla, mientras que aquellos con un desarrollo agrícola más extenso o un sector turístico más robusto enfocan sus recursos en estos sectores, dejando de lado asuntos cruciales como el uso de la tecnología en los sectores productivos. Aunque la tecnología tiene aplicaciones en prácticamente todas las áreas, los instrumentos de planeación revisados indican que la idea de tecnologización en los sectores productivos está muy limitado a la manufactura y, cuando se habla sobre Mipymes, se trata el tema de manera muy básica: varios son los programas cuyo aspecto de tecnologización de las unidades productivas está basado en dotarlas de terminales de compra.

Es importante reiterar que, a pesar de su nombre, la I4.0 no sólo considera la industria manufacturera o de transformación, sino que abarca un amplio espectro de unidades económicas, especialmente en el sector servicios. Sin embargo, desde la política pública, al menos en lo local, casi no se está considerando que estas tecnologías pueden utilizarse en

otros ámbitos más allá de la no industria de transformación. Un caso destacado es el del estado de Querétaro, donde se considera también la tecnologización del propio gobierno, utilizando tecnologías disruptivas vinculadas a la I4.0 para ofrecer trámites y servicios más eficientes. Como se vio en los primeros capítulos, este es un elemento clave en las políticas industriales o PDP, ya que siempre hay un vínculo entre gobierno y empresas.

Dentro de los objetivos específicos, más allá de analizar las implicaciones de la intervención estatal en México y el mundo en cuanto a políticas de desarrollo productivo, se encuentra el análisis comparativo de las estrategias vinculadas a la I4.0, así como la identificación de aquellas variables con una repercusión primordial en su desarrollo. Esto se consiguió a través de la generación del índice establecido, que, aunque limitado por las razones expuestas, muestra una tendencia reveladora que corrobora la hipótesis sobre la profundización de las inequidades ya existentes.

## ANEXOS

### Cálculo de variables y ponderaciones del ICI4.0 por entidad federativa

	Política de ciencia y tecnología				Políticas comerciales			Mipymes		Políticas sectoriales (clústers)				Economía resiliente				
Ponderación	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1
	Presupuesto CTI como % del PIB	Tasa de centros por cada 100 mil/hab	Tasa de investigadores por cada 100 mil/hab	Programas TIC	Tasa de solicitudes de patente por cada 100 mil/hab	% de las exportaciones de alta y media total de exportaciones	Promedio financiamiento pyme	% empleo de Internet	% hicieron compras por internet	% hicieron ventas por internet	tasa de presencia de clústeres	Índice de complejidad. Max-Min	% del total exportaciones alta y media alta	Porcentaje matrícula	Porcentaje PEA	Índice Medio ambiente	Infraestructura digital	Desarrollo digital
Aguascalientes	2.52	29.28	7.79	4.55	10.49	100.00	50.00	35.38	77.43	63.32	23.81	71.65	94.39	34.80	37.08	6.33	42.03	40.07
BC	0.00	9.23	13.36	0.00	5.77	68.28	47.73	44.06	62.23	50.05	33.33	86.22	84.23	32.86	37.12	21.97	90.18	88.54
BCS	0.00	20.44	15.96	0.00	11.06	0.00	ND	50.00	99.10	71.29	0.00	44.38	33.59	11.24	50.00	12.62	39.34	68.41
Campeche	0.09	24.45	8.74	0.00	8.40	0.00	10.97	24.74	46.49	34.03	0.00	30.05	0.00	26.38	31.10	1.27	18.48	24.58
Chiapas	0.97	4.90	2.71	0.00	100	15.87	10.83	3.64	1.60	1.27	4.76	7.58	29.89	10.90	1.17	2.20	16.12	7.28
Chihuahua	3.00	12.19	0.25	13.64	11.59	87.71	6.25	38.00	59.91	48.36	61.90	82.96	93.33	29.85	30.38	36.71	13.60	17.65
CDMX	0.39	50.00	50.00	4.55	0.00	62.56	0.29	24.67	42.17	38.02	0.00	76.05	95.30	25.11	100	49.35	100	100
Coahuila	0.19	21.28	4.37	0.00	1.38	83.29	ND	33.10	58.44	55.90	9.52	84.06	100.00	42.97	38.35	46.70	25.58	32.55
Colima	0.00	37.80	45.95	31.82	93.10	0.00	ND	32.83	65.65	58.78	0.00	39.93	28.90	13.13	60.77	50.28	26.65	41.22
Durango	4.62	10.80	4.23	0.00	10.57	31.24	0.00	23.16	34.93	18.30	28.57	56.76	26.32	33.55	31.75	12.36	12.94	12.73
Guanajuato	1.13	8.26	6.79	50.00	44.86	81.88	25.14	4.16	3.68	4.95	57.14	72.52	64.37	31.93	27.88	48.77	45.80	37.96
Guerrero	0.00	0.00	0.00	9.09	86.89	0.00	0.00	17.06	26.36	24.80	4.76	72.92	22.83	25.83	2.78	24.86	5.75	12.04
Hidalgo	11.52	13.15	5.91	0.00	0.81	49.15	0.00	0.00	0.00	0.28	9.52	0.00	20.57	39.40	12.23	29.73	17.77	19.09
Jalisco	1.94	15.73	9.70	0.00	8.18	70.53	22.97	12.66	19.79	11.79	61.90	38.55	41.30	28.71	35.27	100	29.55	37.10
México	6.75	4.74	2.70	18.18	25.12	72.25	ND	24.08	41.70	38.66	4.76	77.24	35.49	20.03	60.06	35.64	41.21	42.72
Michoacán	0.24	7.55	7.18	9.09	4.43	4.92	3.93	9.58	11.39	8.13	4.76	25.49	18.90	29.05	16.60	14.49	9.64	22.18
Morelos	0.75	22.18	27.93	0.00	30.28	77.87	ND	11.00	13.46	8.89	0.00	33.61	42.26	30.69	27.93	5.08	24.83	43.92
Nayarit	1.51	9.83	4.68	4.55	5.37	12.70	5.46	19.34	37.21	26.76	0.00	20.39	29.61	26.18	16.52	7.17	22.92	31.68
NL	100	19.02	11.70	4.55	48.69	75.60	18.07	43.81	100	100	61.90	100	80.96	20.60	59.29	10.16	32.45	43.02
Oaxaca	7.91	1.63	1.96	0.00	4.52	0.00	0.00	2.44	2.73	0.00	0.00	0.16	18.06	34.04	0.00	5.80	0.00	0.00

Puebla	0.00	8.37	7.60	0.00	14.42	86.15	13.27	7.94	9.64	6.96	100	38.13	59.83	28.06	12.52	52.25	7.95	10.60
Querétaro	11.36	35.64	17.22	0.00	39.37	89.53	5.87	40.78	91.35	80.74	33.33	95.00	77.37	39.01	48.09	25.40	30.73	32.81
Quintana Roo	1.84	10.04	1.66	4.55	16.99	0.00	0.75	43.27	81.77	74.26	9.52	50.62	22.56	0.00	60.20	2.90	41.38	44.23
SLP	67.14	11.73	12.05	9.09	15.94	85.39	0.00	22.27	38.38	30.62	9.52	69.85	78.45	40.70	15.22	10.05	4.89	12.53
Sinaloa	3.02	22.43	7.89	0.00	17.61	6.94	39.80	33.65	47.87	34.12	52.38	45.70	28.60	31.97	31.07	20.42	38.34	40.87
Sonora	0.25	20.38	13.40	0.00	5.99	53.51	0.06	40.88	73.15	58.65	9.52	70.69	55.31	42.28	37.33	33.36	15.02	28.43
Tabasco	2.52	9.07	4.17	0.00	11.80	5.85	1.26	14.99	15.79	18.18	0.00	30.87	8.38	40.04	36.02	1.58	26.10	25.22
Tamaulipas	0.92	4.97	3.25	0.00	9.14	86.73	25.73	23.94	38.53	36.74	4.76	75.65	71.83	50.00	34.42	24.88	13.97	21.43
Tlaxcala	0.00	3.90	4.12	0.00	4.88	42.07	23.31	4.26	2.20	0.70	4.76	32.55	42.22	40.11	4.72	13.75	8.22	23.99
Veracruz	3.27	2.18	3.43	4.55	2.78	23.37	ND	12.22	21.27	15.80	0.00	24.35	20.65	33.82	20.99	19.17	14.05	17.53
Yucatán	1.39	37.35	14.93	0.00	24.80	16.47	7.42	21.39	38.10	38.44	0.00	44.14	29.75	28.03	25.33	7.65	5.79	6.61
Zacatecas	7.13	10.30	8.02	0.00	4.50	11.67	2.87	15.55	32.53	18.32	4.76	33.41	23.83	40.61	3.37	0.00	1.90	16.86

Fuente: elaboración propia



### Cálculo final ICI4.0 por dimensión y entidad federativa

	Política de ciencia y tecnología	Políticas comerciales	Mipymes	Políticas sectoriales	Economía resiliente	ICI4.0	Índice
Nuevo León	54.108	62.143	87.293	80.956	36.782	64.256	Muy alta
Querétaro	25.688	64.452	72.912	68.566	39.121	54.148	Muy alta
Aguascalientes	17.657	55.247	75.377	63.284	35.625	49.438	Alta
Baja California	9.039	37.027	68.023	67.928	60.149	48.433	Alta
Ciudad de México	41.973	31.281	35.050	57.116	83.213	49.727	Alta
Baja California Sur	14.560	5.529	88.156	25.988	40.358	34.918	Media alta
Chihuahua	11.630	49.653	50.841	79.400	28.486	44.002	Media alta
Coahuila	10.334	42.332	58.972	64.529	41.368	43.507	Media alta
Colima	46.228	46.552	62.900	22.945	42.677	44.260	Media alta
Guanajuato	26.473	63.368	12.644	64.679	42.743	41.981	Media alta
Jalisco	10.948	39.354	22.403	47.252	51.249	34.241	Media alta
México	12.951	48.684	41.777	39.166	44.369	37.389	Media alta
Puebla	6.387	50.288	12.602	65.987	24.749	32.003	Media alta
San Luis Potosí	40.005	50.662	30.424	52.606	18.530	38.446	Media alta
Sinaloa	13.335	12.274	51.815	42.227	36.150	31.160	Media alta
Sonora	13.612	29.751	57.579	45.174	34.762	36.176	Media alta
Tamaulipas	3.657	47.939	41.648	50.748	32.156	35.230	Media alta
Campeche	13.311	4.199	38.743	10.016	22.625	17.779	Media baja
Chiapas	3.434	57.935	5.781	14.079	8.369	17.920	Media baja
Durango	7.859	20.907	25.466	37.218	22.962	22.882	Media baja
Guerrero	3.636	43.447	22.737	33.505	15.835	23.832	Media baja
Morelos	20.344	54.073	13.338	25.290	29.431	28.495	Media baja
Nayarit	8.223	9.037	33.327	16.667	23.217	18.094	Media baja
Quintana Roo	7.235	8.496	66.682	27.570	33.046	28.606	Media baja
Yucatán	21.469	20.635	35.115	24.631	16.315	23.633	Media baja
Hidalgo	12.230	24.981	0.093	10.031	26.271	14.721	Baja
Michoacán	9.628	4.676	11.010	16.385	20.434	12.427	Baja
Tabasco	6.303	8.827	16.739	13.083	28.658	14.722	Baja
Tlaxcala	3.206	23.475	10.156	26.510	20.177	16.705	Baja
Veracruz	5.369	13.077	19.716	14.999	23.458	15.324	Baja
Zacatecas	10.182	8.084	23.089	20.670	13.944	15.194	Baja
Oaxaca	4.602	2.259	1.722	6.071	8.854	4.701	Muy baja

Fuente: elaboración propia

Cálculo de variables y ponderaciones del ICI4.0 por países

	Política de ciencia y tecnología			Políticas comerciales		Mipymes		Políticas sectoriales					Economía resiliente			
Ponderación	1	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0.5	1
	Presupuesto CTI por ciento del PIB	ICE por millón de habitantes	Tasa de investigados por millón/hab	Patentes por millón/hab	% de las exportaciones de alta y media alta del total de exportaciones	Crédito interno como porcentaje del GDP	% Mipymes con conexión a Internet	Facilidad para hacer negocios	Clústeres	Índice de complejidad	Porcentaje PIB industria	Porcentaje matrícula	Porcentaje PEA	CO2 emisiones de la industria del total de emisiones	Servidores seguros por millón de habitantes	Estado de la 5G
Alemania	62.687	37.262	30.283	17.080	89.772	17.786	49.619	83.594	70.093	91.204	23.233	50.000	100	59.818	34.593	100
Argentina	7.900	29.642	6.639	1.189	49.961	0.000	0.000	2.344	0.467	31.735	16.426	0.000	38.498	56.431	1.194	100
Australia	35.270	44.279	25.046	19.448	9.546	31.024	49.468	89.844	1.402	16.716	19.703	13.586	56.261	15.216	14.071	100
Bélgica	68.684	41.268	36.099	8.489	74.683	15.418	49.670	64.844	22.897	73.727	6.422	11.245	64.368	62.086	8.502	100
Brasil	21.000	32.053	4.441	1.764	34.020	14.249	49.113	3.906	0.000	41.822	8.199	5.733	33.757	64.205	0.978	100
Canadá	32.522	46.067	27.727	0.000	58.540	ND	46.100	82.813	3.738	60.995	13.331	34.443	ND	49.116	14.078	100
Chile	4.087	32.207	2.384	2.412	3.881	23.782	0.000	54.688	0.000	22.452	32.639	13.126	42.452	31.939	4.435	100
China	47.870	0.000	8.881	85.239	75.960	40.481	0.000	75.781	0.000	66.859	50.000	ND	ND	3.040	0.220	100
Colombia	3.140	22.083	0.000	0.855	47.910	9.726	49.414	48.438	0.935	35.449	18.480	21.508	21.966	68.951	0.027	100
Corea del Sur	100	12.390	50.000	100	94.628	38.909	49.996	96.875	0.000	92.419	35.021	37.528	69.645	58.270	1.996	100
Ecuador	4.818	8.870	1.737	0.663	2.895	9.506	0.000	0.000	0.000	0.000	32.273	7.701	3.289	41.225	0.018	33
España	26.929	37.696	17.581	3.214	65.664	21.516	49.229	76.563	100	56.847	8.579	15.479	56.215	59.904	7.566	100
Estados Unidos	69.253	50.000	24.254	37.106	76.943	50.000	0.000	94.531	9.346	79.686	3.252	12.059	65.936	95.285	50.000	100
Francia	43.416	39.044	28.276	5.518	76.937	26.764	49.102	75.000	58.879	75.398	0.000	25.931	61.642	100	12.740	100
India	10.587	1.492	0.948	0.797	41.000	9.551	0.000	52.344	0.935	50.847	21.131	38.169	11.092	82.173	0.051	33
Italia	27.443	38.009	14.390	4.938	65.065	15.996	49.560	55.469	52.336	73.573	14.843	21.751	92.605	67.115	7.242	100
Japón	65.888	24.300	30.852	45.554	100.000	44.496	0.000	77.344	1.402	100	28.100	ND	66.951	0.000	8.015	100
México	2.991	23.194	1.491	2.331	99.075	5.833	0.000	53.906	12.150	67.451	34.231	22.559	56.800	13.832	0.000	33
Nueva Zelanda	27.460	37.128	27.871	34.620	18.255	34.951	46.048	100	0.000	44.528	7.216	21.756	ND	45.309	7.183	100

Países																
Bajos	45.287	44.713	33.276	5.126	70.097	20.701	49.469	67.969	15.421	67.251	3.857	10.366	60.486	17.113	48.597	100
Perú	0.000	15.095	ND	1.130	0.000	8.885	0.000	41.406	0.000	8.794	40.206	35.595	0.000	35.845	0.043	100
Portugal	32.177	25.981	29.935	1.495	52.055	21.411	48.509	70.313	13.551	49.420	6.218	31.005	81.379	60.754	7.777	100
Reino Unido	57.934	48.740	24.474	4.448	82.625	31.019	48.407	96.094	14.486	78.243	0.473	19.060	65.251	68.072	12.857	100
Rusia	17.174	12.006	14.652	5.144	33.513	10.526	0.000	78.125	0.000	45.811	33.580	39.826	68.304	63.920	4.633	33
Suecia	68.426	42.104	44.711	3.148	71.225	30.195	47.686	92.969	23.832	81.988	13.752	32.122	75.164	22.985	11.536	100
Uruguay	5.869	17.137	3.994	4.471	25.503	3.701	0.000	21.875	0.000	32.574	4.308	8.646	31.689	47.258	0.576	100

Fuente: elaboración propia

### Cálculo final ICI4.0 por dimensión y país

	Política de ciencia y tecnología	Políticas comerciales	Mipymes	Políticas sectoriales	Economía resiliente	ICI4.0	Índice
Corea del Sur	81.195	97.314	92.890	50.976	66.860	77.847	Muy alta
Alemania	65.116	53.426	75.499	73.812	86.103	70.791	Alta
Estados Unidos	71.754	57.025	72.266	36.913	80.820	63.756	Alta
Bélgica	73.025	41.586	64.966	41.218	61.550	56.469	Media alta
Canadá	53.158	29.270	85.942	31.226	65.879	53.095	Media alta
China	28.376	80.599	58.131	46.744	41.304	51.031	Media alta
Francia	55.367	41.228	75.433	53.710	75.078	60.163	Media alta
Italia	39.921	35.001	60.512	56.301	72.178	52.783	Media alta
Japón	60.520	72.777	60.920	51.801	49.990	59.202	Media alta
Países Bajos	61.638	37.611	69.069	34.612	59.140	52.414	Media alta
Nueva Zelanda	46.230	26.438	90.500	20.698	58.083	48.390	Media alta
Portugal	44.046	26.775	70.116	27.676	70.229	47.768	Media alta
España	41.103	34.439	73.654	66.170	59.791	55.032	Media alta
Suecia	77.621	37.187	85.425	47.829	60.452	61.703	Media alta
Reino Unido	65.574	43.536	87.760	37.281	66.310	60.092	Media alta
Australia	52.298	14.497	85.167	15.128	49.784	43.375	Media baja
Brasil	28.747	17.892	33.634	20.009	51.168	30.290	Media baja
Colombia	12.612	24.383	53.789	21.946	53.113	33.168	Media baja
México	13.838	50.703	29.870	45.533	31.548	34.298	Media baja
Rusia	21.916	19.329	44.326	31.757	52.421	33.950	Media baja
Argentina	22.090	25.575	1.172	19.451	49.031	23.464	Baja
Chile	19.339	3.147	39.235	22.037	47.988	26.349	Baja
India	6.514	20.898	30.947	29.165	41.121	25.729	Baja
Perú	10.064	0.565	25.146	19.600	42.871	19.649	Baja
Uruguay	13.500	14.987	12.788	14.753	47.042	20.614	Baja
Ecuador	7.713	1.779	4.753	12.909	21.308	9.693	Muy baja

Fuente: elaboración propia

## REFERENCIAS

- 3GPP. (2022). *About 3GPP Home*. <https://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
- Acatech. (2013a). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*.  
<https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- Acatech. (2013b). *Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.  
[https://www.academia.edu/36867338/Securing\\_the\\_future\\_of\\_German\\_manufacturing\\_industry\\_Recommendations\\_for\\_implementing\\_the\\_strategic\\_initiative\\_INDUSTRIE\\_4\\_0\\_Final\\_report\\_of\\_the\\_Industrie\\_4\\_0\\_Working\\_Group](https://www.academia.edu/36867338/Securing_the_future_of_German_manufacturing_industry_Recommendations_for_implementing_the_strategic_initiative_INDUSTRIE_4_0_Final_report_of_the_Industrie_4_0_Working_Group)
- Acatech. (2017a). *Industrie 4.0 Maturity Index*. <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/>
- Acatech. (2017b). *Industrie 4.0 Maturity Index*. [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_eng\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf)
- Acemoglu, D., Aghion, P., & Zilibotti, F. (2006). Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth. *Journal of the European Economic Association*, 4(1), 37–74.  
<https://doi.org/10.1162/jeea.2006.4.1.37>
- Alburquerque, F. (2015, enero). *Las Políticas de Desarrollo Productivo y el Desarrollo Económico Territorial*. <https://www.franciscoalburquerque.com/wp-content/uploads/2021/04/1.-Las-Politic-as-de-Desarrollo-Productivo-y-el-DeT.pdf>
- Álvarez Medina, Ma. de L. (2022). La política pública para el desarrollo de la manufactura avanzada en los Estados Unidos de América de 2011 a 2020. En *Oportunidades y retos para la adopción de la industria 4.0 en México* (pp. 145–167). UNAM - PyV Editores.
- Álvarez, R. (2018, junio 15). *El 5G es una realidad: Ya tenemos el estándar definitivo para la implementación de las redes móviles de próxima generación*. Xataka.  
<https://www.xataka.com/moviles/5g-realidad-tenemos-estandar-definitivo-para-implementacion-redes-moviles-proxima-generacion>
- Antunes, R. (2001). *¿Adiós al trabajo?, Ensayo sobre las metamorfosis y la centralidad del mundo del trabajo | Compra en línea*.
- Anzola, M. F. (2021, enero 6). Del 1G al 5G: La evolución de las redes móviles tras el cambio de generación. *ASIET*. <http://asiet.lat/magazine-digital/del-1g-al-5g-la-evolucion-de-las-redes-moviles-tras-el-cambio-de-generacion/>
- Arellano Morales, M. A. A. (2014). *Apertura Externa, Industria Manufacturera y Política Industrial en México: Vision Prospectiva*. Palibrio.
- Arroyo Pichardo, G. (2008). Las relaciones internacionales del siglo XXI. Un nuevo paradigma metodológico para su estudio. *Revista de Relaciones Internacionales de*

- la UNAM, 100*, Article 100.  
<https://www.revistas.unam.mx/index.php/rri/article/view/79474>
- Asher Hamilton, I. (2022, junio 20). El problema no es que la IA se vuelva consciente, sino que discrimine más. *Business Insider México | Noticias pensadas para ti*.  
[https://businessinsider.mx/problema-no-es-ia-consciente-sino-discriminacion-personas\\_tecnologia/](https://businessinsider.mx/problema-no-es-ia-consciente-sino-discriminacion-personas_tecnologia/)
- Banco Mundial. (2022). *Personas que usan Internet (% de la población)—Latin America & Caribbean | Data*.  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/IT.NET.USER.ZS?locations=ZJ>
- Banco Mundial. (2023). *World Bank Open Data*. World Bank Open Data.  
<https://data.worldbank.org>
- Barkin, D., & Lemus, B. (2015). Construyendo mundos pos-capitalistas. *Cultura y Representaciones Sociales*, 10(19), Article 19.  
<http://www.culturayrs.unam.mx/index.php/CRS/article/view/390>
- Basir, R., Qaisar, S., Ali, M., Aldwairi, M., Ashraf, M. I., Mahmood, A., & Gidlund, M. (2019). Fog Computing Enabling Industrial Internet of Things: State-of-the-Art and Research Challenges. *Sensors*, 19(21), 4807. <https://doi.org/10.3390/s19214807>
- BBC. (2014, marzo 27). *Los 10 puntos oscuros de las impresoras 3D*. BBC News Mundo.  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140327\\_tecnologia\\_impresoras\\_3d\\_1\\_ado\\_oscuero\\_rg](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140327_tecnologia_impresoras_3d_1_ado_oscuero_rg)
- BBV. (2018). *Los siete usos de la realidad aumentada que ya están aquí*.  
<https://www.bbva.com/es/siete-usos-realidad-aumentada-ya-estan-aqui/>
- Beltrán Villalva, M. (2001). Sobre la noción de estructura social. *Revista Internacional de Sociología*, 59(30), Article 30. <https://doi.org/10.3989/ris.2001.i30.766>
- Bertolini, P. (2020, marzo 12). *Small cells, el mejor aliado para la entrega de conexiones de alto ancho de banda en 5G | DPL News*. <https://dplnews.com/small-cells-el-mejor-aliado-para-la-entrega-de-conexiones-de-alto-ancho-de-banda-en-5g/>
- BMWi. (2020, noviembre). *Sustainable production: Actively shaping the ecological transformation with Industrie 4.0*. [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/sustainable-production.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/sustainable-production.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- BMWK. (2023). *The Results of Platform Industrie 4.0*. Plattform Industrie 4.0.  
<https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Services-Results/Results/results.html>
- Borda-Rodríguez, A., & Lanfranco, S. (2010). Conocimiento y tecnología para el Desarrollo. En H. Veltmeyer (Ed.), *Herramientas para el cambio: Manual para los estudios críticos del desarrollo* (pp. 235–240). CIDES-UMSA.  
<https://1library.co/document/q2n31glj-herramientas-cambio-manual-estudios-cr%C3%ADticos-desarrollo.html>
- Bremmer, I. (2021, octubre 19). The Technopolar Moment. How Digital Powers Will Reshape the Global Order. *Foreign Affairs*, November/December 2021.  
<https://www.foreignaffairs.com/articles/world/2021-10-19/ian-bremmer-big-tech->

global-  
order?check\_logged\_in=1&utm\_medium=promo\_email&utm\_source=lo\_flows&utm\_campaign=registered\_user\_welcome&utm\_term=email\_1&utm\_content=20230503

- Bresser, L. C. (2009, mayo 1). Neoliberalismo y teoría económica | Nueva Sociedad. *Nueva Sociedad / Democracia y política en América Latina*.  
<https://nuso.org/articulo/neoliberalismo-y-teoria-economica/>
- Breznitz, D., & Ornston, Da. (2014). Scaling up and sustaining experimental innovation policies with limited resources: Peripheral Schumpeterian development agencies. En *Making Innovation Policy Work: Learning From Experimentation* (pp. 247–284). OECD / World Bank.
- Budanov, V., Aseeva, I., & Zvonova, E. (2018). Industry 4.0.: Socio-economic junctures. *Economic Annals-XXI*, 168, 33–37. <https://doi.org/10.21003/ea.V168-07>
- Bulman, D., Eden, M., & Nguyen, H. (2017). *Transitioning from Low-Income Growth to High-Income Growth: Is there a Middle-Income Trap?* (Número 646). Asian Development Bank. <https://www.adb.org/publications/transitioning-low-income-growth-high-income-growth>
- Calvino, F., Criscuolo, C., Marcolin, L., & Squicciarini, M. (2018). *A taxonomy of digital intensive sectors*. OECD. <https://doi.org/10.1787/f404736a-en>
- Câmara Brasileira da Indústria 4.0. (2020, agosto). *Plano de Ação 2019-2022*.  
<https://hmgindustria40gov.abdi.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Plano-de-Acao-2019-2022-Versao-Aprovada.27ago2020.pdf>
- Cámara de Diputados. (2022). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*.  
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Candela Herrera, J. S. (2019). *Delimitación de los estándares necesarios para la implementación de la 4.5G en Colombia*. Universidad Santo Tomás de Aquino.
- Casalet, M. (2018). *La digitalización industrial. Un camino hacia la gobernanza colaborativa*. Cepal.  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44266/1/S1800941\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44266/1/S1800941_es.pdf)
- Castells, M. (2000). *The Rise of The Network Society: The Information Age: Economy, Society and Culture*. Wiley.
- Castillo, M. (2007). *La Internet industrial para el cambio estructural en América Latina*.
- Cebrián, J. L. (1998). *La Red: Como cambiarán nuestras vidas los nuevos medios de comunicación*. Taurus.
- CEFP. (2018, abril 13). *Programas Prioritarios 2018-2019*.  
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2018/notacefp0122018.pdf>
- CEFP. (2019, abril 30). *Programas Prioritarios 2019-2020*.  
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2019/notacefp0222019.pdf>
- CEFP. (2020, abril 21). *Programas Prioritarios 2020-2021*.  
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2020/notacefp0282020.pdf>

- CEFP. (2021, abril 22). *Programas Prioritarios, 2021-2022*.  
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/documento/2021/cefp0132021.pdf>
- CEFP. (2022a, abril 6). *Programas Prioritarios Pre-Criterios 2021-2022*.  
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/infografias/2021/daip/infdaip0282021.pdf>
- CEFP. (2022b, julio 21). *Evolución de los recursos aprobados al Ramo 10 “Economía”, 2016-2021*.  
<https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2021/notacefp0512021.pdf>
- Chaminade, C., Lundvall, B.-A., Vang, J., & Joseoh, K. (2009). Designing innovation policies for development: Towards a systematic experimentation-based approach. In *Handbook of innovation systems and developing countries: Building domestic capabilities in a global setting*. Edward Elgar.
- Chang, H.-J. (2003). *Globalization, economic development, and the role of the state*. Zed Books.
- Cherif, R., & Hasanov, F. (2019, marzo). *The Return of the Policy That Shall Not Be Named: Principles of Industrial Policy*.  
<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/03/26/The-Return-of-the-Policy-That-Shall-Not-Be-Named-Principles-of-Industrial-Policy-46710>
- Cherif, R., Hasanov, F., & Wang, L. (2018). *Sharp Instrument: A Stab at Identifying the Causes of Economic Growth*.  
<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/05/21/Sharp-Instrument-A-Stab-at-Identifying-the-Causes-of-Economic-Growth-45879>
- Chihuahua Futura. (2023, agosto 3). *Chihuahua Futura – Transformando Chihuahua*.  
<https://chihuahuafutura.org/>
- Cimoli, M., Dosi, G., & Stiglitz, J. E. (Eds.). (2009). *Industrial Policy and Development: The Political Economy of Capabilities Accumulation*. Oxford University Press.  
<https://academic.oup.com/book/32519>
- Comisión Europea. (2018, febrero). *Case Study Report. The German High-Tech Strategy*.  
[https://jiip.eu/mop/wp/wp-content/uploads/2018/09/DE\\_High-Tech-Strategy\\_Unger.pdf](https://jiip.eu/mop/wp/wp-content/uploads/2018/09/DE_High-Tech-Strategy_Unger.pdf)
- Comisión Intersecretarial para el Desarrollo del Gobierno. (2014, mayo 26). *La Evolución, hacia PROSOFT 3.0*. Gobierno de México. <http://www.gob.mx/cidge/articulos/la-evolucion-hacia-prosoft-3-0>
- Conacyt. (2021). *Programa Institucional Conacyt 2020-2024*. [https://conacyt.mx/wp-content/uploads/conacyt/Programa\\_Institucional\\_Conacyt\\_2020-2024.pdf](https://conacyt.mx/wp-content/uploads/conacyt/Programa_Institucional_Conacyt_2020-2024.pdf)
- Coneval. (2022). *Anexo estadístico 2022 [Dataset]*.  
[https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE\\_pobreza\\_2022.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/AE_pobreza_2022.aspx)
- Corral, M. (2021, abril 13). ¿Se pueden patentar seres vivos? *ABG Intellectual Property*.
- Corvalán, J. (Director). (2021, octubre 27). *Inteligencia Artificial y justicia [Video recording]*. <https://www.youtube.com/watch?v=TCh9wI-3Ys0>
- Crespi, G., Maffioli, A., Mohnen, P., & Vázquez, G. (2011). *Evaluating the impact of science, technology and innovation programs: A methodological toolkit*. BAncO



- Interamericano de Desarrollo.  
<https://publications.iadb.org/publications/english/document/Evaluating-the-Impact-of-Science-Technology-and-Innovation-Programs-a-Methodological-Toolkit.pdf>
- De León, S., Peñalva, L., & Ríos, R. S. (2022). Relación entre actores y artefactos en la Industria 4.0. En *Oportunidades y retos para la adopción de la Industria 4.0 en México* (pp. 59–80).
- Deloitte. (2017). *Manufacturing USA A Third-Party Evaluation of Program Design and Progress*.  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-manufacturing-USA-program-and-process.pdf>
- Deloitte. (2018). *The Fourth Industrial Revolution is here—Are you ready?*  
[https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/manufacturing/Industry4-0\\_Are-you-ready\\_Report.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/manufacturing/Industry4-0_Are-you-ready_Report.pdf)
- Diario Oficial de la Federación. (2019, febrero 26). *Reglas de Operación del Programa para el Desarrollo de la Industria de Software (PROSOFT) y la Innovación para el ejercicio fiscal 2019*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/440337/ro2019prosoft\\_\\_1\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/440337/ro2019prosoft__1_.pdf)
- Dini, M. (2022, agosto 18). *Políticas para el desarrollo productivo en América Latina: Elementos para el debate*. Elades, Santiago de Chile.
- DOF. (2013, mayo 20). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013#gs.c.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013#gs.c.tab=0)
- DOF. (2019, julio 12). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gs.c.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gs.c.tab=0)
- DOF. (2020, abril 2). *DECRETO por el que se ordena la extinción o terminación de los fideicomisos públicos, mandatos públicos y análogos*.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5591085&fecha=02/04/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5591085&fecha=02/04/2020)
- Dosi, G. (1982). Technical paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants of technical change. *Research Policy*, 2(3), 147–162.
- Douglas, S., & Thomas, G. (2014). La producción y la tecnología en la revolución de la comunicación y la información. En *Nuevas tecnologías y medios de comunicación en México*. Trillas.
- Downs, A. (1993). El ciclo de atención a los problemas sociales. Los altibajos de la ecología. En *Problemas públicos y agenda de gobierno, México* (Luis F. Aguilar Villanueva, pp. 137–156). Miguel Ángel Porrúa.
- Duarte, D. (2015, julio 7). De 1G a 5G: un recorrido por la historia del internet móvil. *ENTER.CO*. <https://www.enter.co/startups/innovacion/de-1g-a-5g-un-recorrido-por-la-historia-del-internet-movil/>
- Dutz, M. A., Kuznetsov, Y., Lasagabaster, E., & Pilat, D. (2014). *Making Innovation Policy Work: Learning from Experimentation*. OECD.

- Eichengreen, B., Park, D., & Shin, K. (2013). *Growth Slowdowns Redux: New Evidence on the Middle-Income Trap* (Working Paper 18673). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w18673>
- El Economista. (2024, febrero 21). Diego Sinhue presenta Plan Estatal de Desarrollo Guanajuato 2050. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/estados/Diego-Sinhue-presenta-Plan-Estatal-de-Desarrollo-Guanajuato-2050-20240221-0145.html>
- Eslava, S. (2021, octubre 21). *Transformación digital de las industrias* [Keynote]. Congreso CLTD. <https://www.youtube.com/watch?v=ygnTWIXoT5Q>
- European Commission. (2017, mayo). *Key lessons from national industry 4.0 policy initiatives in Europe*. [https://es.sistemica.it/docs/379/DTM\\_Policy\\_initiative\\_comparison\\_v1.pdf](https://es.sistemica.it/docs/379/DTM_Policy_initiative_comparison_v1.pdf)
- European Regional Development Fund. (2020). *Definition of I4.0 Public Policy Initiatives*. [https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user\\_upload/tx\\_tevprojects/library/file\\_1606752330.pdf](https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1606752330.pdf)
- Expansión. (2018, enero 2). *La realidad virtual conlleva riesgos muy reales para la salud*. Expansión. <https://expansion.mx/tendencias/2018/01/02/la-realidad-virtual-conlleva-riesgos-muy-reales-para-la-salud>
- Feldman, P. J., & Girolimo, U. (2021). La Industria 4.0 en perspectiva latinoamericana: Limitaciones, oportunidades y desafíos para su desarrollo. *Revista Perspectivas de Políticas Públicas*, 10(20), Article 20. <https://doi.org/10.18294/rppp.2021.3645>
- FEM. (2019a). *Civil Society in the Fourth Industrial Revolution: Preparation and Response*. Foro Económico Mundial. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Civil\\_Society\\_in\\_the\\_Fourth\\_Industrial\\_Revolution\\_Response\\_and\\_Innovation.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Civil_Society_in_the_Fourth_Industrial_Revolution_Response_and_Innovation.pdf)
- FEM. (2019b). *The Global Risks Report 2019*. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf)
- Foladori, G. (2009). La Gobernanza de las Nanotecnologías. *Sociológica*, 24(71).
- Forbes. (2018, septiembre 7). *Gobierno alista la Plataforma de Industria 4.0 MX*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/gobierno-alista-la-plataforma-de-industria-4-0-mx/>
- Forbes. (2021, febrero 20). *Esta app revela que la red 5G ya se está implementando en México*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/forbes-life/tecnologia-telcel-despliega-5g-mexico/>
- Ford, M. (2016). *El auge de los robots*. Paidós. Electrónico.
- Forum New Economy. (2024, mayo 29). Berlin Summit Declaration May 2024. *Forum for a New Economy*. <https://newforum.org/en/the-berlin-summit-declaration-winning-back-the-people/>
- Frank, J. W. (2021). Electromagnetic fields, 5G and health: What about the precautionary principle? *J Epidemiol Community Health*, 75(6), 562–566. <https://doi.org/10.1136/jech-2019-213595>

- Galbraith, J. K. (2024, junio 25). *Industrial Policy Is a Nostalgic Pipe Dream* | by James K. Galbraith. Project Syndicate. <https://www.project-syndicate.org/commentary/berlin-declaration-industrial-policy-progressive-pipe-dream-more-nostalgic-than-effective-by-james-k-galbraith-2024-06>
- García Garnica, A. (2022). La cuarta revolución industrial: Algunas reflexiones sobre su implementación, la brecha digital y las empresas. En *Oportunidades y retos para la adopción de la Industria 4.0 en México* (pp. 81–103). UNAM - PyV Editores.
- García Linera, Á. (2017). Espacio nacional y espacio global del capitalismo. *Geopolítica(s). Revista de estudios sobre espacio y poder*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.5209/GEOP.58129>
- Gobierno de Aguascalientes. (2020, junio 16). *Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022*.
- Gobierno de Aguascalientes. (2023, marzo). *Plan Estatal de Desarrollo 2022-2027*. [file:///C:/Users/allur/Desktop/nuevos%20tesis%20marzo%202023/planes%20estatales/AGS\\_2022\\_2027.pdf](file:///C:/Users/allur/Desktop/nuevos%20tesis%20marzo%202023/planes%20estatales/AGS_2022_2027.pdf)
- Gobierno de Chihuahua. (2021). *Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027*. <https://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/iniciativas/archivosIniciativas/17946.pdf>
- Gobierno de Coahuila. (2017). *Plan Estatal de Desarrollo 2017-2023*. [https://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/Publicaciones/PED2017-2023/Plan\\_Estatal\\_Desarrollo\\_baja.pdf](https://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/Publicaciones/PED2017-2023/Plan_Estatal_Desarrollo_baja.pdf)
- Gobierno de Colima. (2021). *Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027*. [https://admiweb.col.gob.mx/archivos\\_prensa/banco\\_img/file\\_61dc953663630\\_GdCPlandeDesarrolloEstatal.pdf](https://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/file_61dc953663630_GdCPlandeDesarrolloEstatal.pdf)
- Gobierno de gabinete. (2022, junio 3). *Integrated Innovation Strategy 2022*. [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy\\_2022.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy_2022.pdf)
- Gobierno de Guanajuato. (2018, diciembre 31). *Reglas de operación programa “iNNDustria 4.0” ejercicio fiscal 2019*. [https://periodico.guanajuato.gob.mx/downloadfile?dir=anio\\_2018&file=PO\\_261\\_11va\\_Parte\\_20181227\\_2201\\_5.pdf](https://periodico.guanajuato.gob.mx/downloadfile?dir=anio_2018&file=PO_261_11va_Parte_20181227_2201_5.pdf)
- Gobierno de Guanajuato. (2019a). *Plan Estatal de Desarrollo Guanajuato 2040. Dimensión Económica*. <https://iplaneg.guanajuato.gob.mx/ped2040/wp-content/uploads/2019/01/02-D-Economia.pdf>
- Gobierno de Guanajuato. (2019b). *Resumen ejecutivo. Plan Estatal de Desarrollo de Guanajuato*. [https://iplaneg.guanajuato.gob.mx/ped2040/wp-content/uploads/2019/01/PED\\_Gto2040\\_WEB.pdf](https://iplaneg.guanajuato.gob.mx/ped2040/wp-content/uploads/2019/01/PED_Gto2040_WEB.pdf)
- Gobierno de Guanajuato. (2023). *Idea GTO – IDEAGTO*. <https://idea.guanajuato.gob.mx/>
- Gobierno de Guerrero. (2022, junio 24). *Plan Estatal de Desarrollo 2022-2027*. <https://www.guerrero.gob.mx/wp-content/uploads/2022/06/PED-2022-2027.pdf>
- Gobierno de Japón. (2019, enero). *ABENOMICS. For future growth, for future generations, and for a future Japan*. [https://www.japan.go.jp/abenomics/\\_userdata/abenomics/pdf/1901\\_abenomics.pdf](https://www.japan.go.jp/abenomics/_userdata/abenomics/pdf/1901_abenomics.pdf)

- Gobierno de Japón. (2021, septiembre 28). *Realizing Society 5.0*.  
[https://www.japan.go.jp/abonomics/\\_userdata/abonomics/pdf/society\\_5.0.pdf](https://www.japan.go.jp/abonomics/_userdata/abonomics/pdf/society_5.0.pdf)
- Gobierno de la CDMX. (2020). *Plan General de Desarrollo de la CDMX 2019-2024*.  
[https://plazapublica.cdmx.gob.mx/uploads/decidim/attachment/file/288/PGDCDMX\\_completo.pdf](https://plazapublica.cdmx.gob.mx/uploads/decidim/attachment/file/288/PGDCDMX_completo.pdf)
- Gobierno de Michoacán. (2021). *Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027*.  
<https://drive.google.com/file/d/1zgtDZ6LBvo2J3OwwxVLxJJOQ-uokL7mx/view>
- Gobierno de Morelos. (2021, julio 28). *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2019*.  
[http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/reglamentos\\_estatales/pdf/PED2019-2024.pdf](http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/reglamentos_estatales/pdf/PED2019-2024.pdf)
- Gobierno de Morelos. (2022, octubre 18). *Mantendremos a Morelos como referente en industria a través de nuevas tendencias digitales: Cecilia Rodríguez*. Gobierno de Morelos. <https://morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/mantendremos-morelos-como-referente-en-industria-traves-de-nuevas-tendencias-digitales>
- Gobierno de Nuevo León. (2022, abril 4). *Plan estatal de desarrollo de Nuevo León 2022-2027*.  
[https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/plan\\_estatal\\_de\\_desarrollo\\_nuevo\\_leon\\_2022-2027\\_-\\_pdf.pdf](https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/plan_estatal_de_desarrollo_nuevo_leon_2022-2027_-_pdf.pdf)
- Gobierno de Nuevo León. (S/F). *Estado inteligente: Nuevo León 4.0*.  
[https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/presentacion\\_nl40\\_31\\_mayo\\_-\\_rev\\_02\\_2\\_0.pdf](https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/presentacion_nl40_31_mayo_-_rev_02_2_0.pdf)
- Gobierno de Oaxaca. (2022). *Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028*.  
<http://www.ped.oaxaca.gob.mx/ped/Archivos/inicio/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20ESTATAL%202022-2028-web.pdf>
- Gobierno de Querétaro. (2021). *Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027*.  
[https://plan.queretaro.gob.mx/docs/PEDQ\\_Final\\_D\\_pag.pdf](https://plan.queretaro.gob.mx/docs/PEDQ_Final_D_pag.pdf)
- Gobierno de SLP. (2022, febrero 28). *Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027*.  
<https://slp.gob.mx/secult/pdf/220408-PED-2021-2027-Completo.pdf>
- Gobierno de Tabasco. (2019). *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024*.  
[https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/planeacion\\_spf/PLED%202019-2024.pdf](https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/planeacion_spf/PLED%202019-2024.pdf)
- Gobierno de Tamaulipas. (2016). *Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022*.  
<http://www.upalt.edu.mx/wp-content/uploads/2020/01/plan-estatal-de-desarrollo-2016-2022.pdf>
- Gobierno de Veracruz. (2016, junio 5). *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024*.  
[http://repositorio.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/4/files/transp/pvd\\_2019\\_2024/Gac2019-224\\_Miercoles\\_05\\_TOMO\\_II\\_Ext\\_\(PLAN\\_VERACRUZANO\\_2019\\_2024\).pdf](http://repositorio.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/4/files/transp/pvd_2019_2024/Gac2019-224_Miercoles_05_TOMO_II_Ext_(PLAN_VERACRUZANO_2019_2024).pdf)
- Gobierno de Yucatán. (2019, marzo 30). *Plan Estatal de Desarrollo 2018-2024*.  
<https://transparencia.yucatan.gob.mx/informes.php?id=ped>

- González Chávez, G. (2019). La innovación tecnológica y el desplazamiento de fuerza de trabajo. En *Innovación y desarrollo tecnológico en México. Estudios sectoriales y regionales*. (pp. 451–483). BUAP Ediciones.
- Grabowska, S. (2020). Smart factories in the age of Industry 4.0. *Management Systems in Production Engineering*, 28(2), 90–96. <https://doi.org/DOI 10.2478/mspe-2020-0014>
- Guarneros Olmos, F. (2023, marzo 8). #8M: Los sesgos de las IA generativas afectan más a mujeres que a hombres. *Expansión*. <https://expansion.mx/tecnologia/2023/03/08/sesgos-de-ia-generativas-afectan-mas-mujeres-que-hombres>
- Gubern, R. (1995). La antropotrónica: Nuevos modelos tecnoculturales de la sociedad massmediática. En *Nuevas tecnologías y medios de comunicación en México*. Trillas.
- Guio, A. (Director). (2021, octubre 26). *Ética y Gobernanza de la IA en América Latina y el Caribe* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=tujbKlmuvy4>
- Guirardi, G. (Director). (2021, octubre 27). *El futuro y la IA en América Latina y el Caribe* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=nLHGgraUe2s>
- Hao, H., Hui, D., & Lau, D. (2020). Material advancement in technological development for the 5G wireless communications. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 683–699. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0054>
- Hausmann, R., Hwang, J., & Rodrik, D. (2007). What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s10887-006-9009-4>
- Hejduková, P., Kureková, L., & Krechovská, M. (2020). The Measurement of Industry 4.0: An Empirical Cluster Analysis for EU Countries. *International Journal of Economic Sciences*, 9(1), 121–134.
- Hobsbawm, E. (2014). *Historia del siglo XX*. Planeta.
- Holgado, Á. (2023, septiembre 9). Auge y caída de la “utopía” de Jun: El pueblo de Twitter entierra para siempre al pajarito azul. *El confidencial*. [https://www.elconfidencial.com/espana/andalucia/2023-09-09/auge-caida-utopia-jun-pueblo-twitter-mundial\\_3731916/](https://www.elconfidencial.com/espana/andalucia/2023-09-09/auge-caida-utopia-jun-pueblo-twitter-mundial_3731916/)
- Hosseini, H., & Gills, B. K. (2019). Globalización desde la perspectiva de estudios críticos del desarroll. En H. Hosseini & B. K. Gills (Eds.), *Guía esencial para los estudios críticos del desarrollo*. CIDES-UMSA.
- Hunt, D. (1989). *Economic Theories of Development: An Analysis of Competing Paradigms*. Harvester Wheatsheaf.
- IFT. (2021). *Comité Técnico en Materia de Despliegue de 5G en México*. <https://comite5g.ift.org.mx/dashboard>
- IMCO. (2018). *Las 10 carreras profesionales con mayor matrícula*. <http://imco.org.mx/comparacarreras/#!/ranking/mayor-matricula/2018/1>
- IMCO. (2024). *Índices de competitividad*. <https://imco.org.mx/indices/>

- Inegi. (2021, septiembre 10). *Indicadore mensual de la actividad industrial por entidad federativa*.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/IMAIEF/IMAIEF2021\\_08.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/IMAIEF/IMAIEF2021_08.pdf)
- Inegi. (2024). *Sistema para la consulta de indicadores estratégicos, InfoLaboral*.  
[https://www.inegi.org.mx/sistemas/infoenoe/Default\\_15mas.aspx](https://www.inegi.org.mx/sistemas/infoenoe/Default_15mas.aspx)
- INES. (2021, mayo 4). ¿A qué nos referimos cuando hablamos de Economía Social? *Gobierno de México*. <http://www.gob.mx/inaes/articulos/a-que-nos-referimos-cuando-hablamos-de-economia-social?idiom=es>
- ISO. (2022a). *ISO - Standards*. ISO. <https://www.iso.org/standards.html>
- ISO. (2022b). ISO 20000—Calidad de los servicios TI ISO / IEC 20000. *Normas ISO*.  
<https://www.normas-iso.com/iso-20000/>
- ISO/IEC. (2018, agosto). *ISO/IEC 30141:2018*. ISO.  
<https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/56/65695.html>
- Johnston, T., Smith, T. D., & Irwin, J. L. (2018). *Additive Manufacturing in 2040: Powerful Enabler, Disruptive Threat*. RAND Corporation.  
<https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE283.html>
- Jones, C. O. (1970). *An Introduction to the Study of Public Policy*. Wadsworth Publishing Company.
- Kay, C. (2019). Teoría del Desarrollo: El Pivote Latinoamericano. En H. Hosseini & B. Gills (Eds.), *Guía esencial para los estudios críticos del desarrollo*. CIDES-UMSA.
- Knutov, A., & Styrin, E. (2020). Use of the Internet of Things in Public Governance for Law Enforcement and Inspection: The Case of Russia. En *Beyond Smart and Connected Governments. Sensors and the Internet of Things in the Public Sector*. Springer.
- Kovacs, O. (2018). The dark corners of industry 4.0 – Grounding economic governance 2.0. *Technology in Society*, 55, 140–145.  
<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.07.009>
- Kuo, C.-C., Shyu, J. Z., & Ding, K. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA. *Global Transitions*, 1, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>
- Kurban, C. (2023, febrero 2). *Las 22 Mayores Empresas Tecnológicas del Mundo en 2023*. UserGuiding. <https://userguiding.com/es/blog/las-mayores-empresas-tecnologicas/>
- Lechman, E., & Marszk, A. (2019). The fifth technological revolution: Context and background. En *ICT-Driven Economic and Financial Development* (pp. 9–51).  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813798-7.00002-6>
- Lee, K. (2013). *Schumpeterian analysis of economic catch-up: Knowledge, path-creation, and the middle-income trap*. Cambridge University Press.
- LFTR. (2014). *Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión*. 104.

- Lim, C. H., & Mack, V. (2017, septiembre 19). *Can the world's megacities survive the digital age?* The Conversation. <http://theconversation.com/can-the-worlds-megacities-survive-the-digital-age-83257>
- Lindbeck, A. (2007). Industrial Policy as an Issue in the Economic Environment. *The World Economy*, 4, 391–406. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.1981.tb00368.x>
- Liu, X. (Summer), Megginson, W. L., & Xia, J. (2022). Industrial policy and asset prices: Evidence from the Made in China 2025 policy. *Journal of Banking & Finance*, 142, 106554. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2022.106554>
- Loewe, Z. (2018, julio 20). *Apoyan a la iniciativa de la industria 4.0 en Morelos*. <https://conecta.tec.mx/es/noticias/cuernavaca/investigacion/apoyan-la-iniciativa-de-la-industria-40-en-morelos>
- Lopátegui, M. (2022). De la sociedad de la información y el conocimiento a la Industria 4.0. Aproximaciones a la cuarta revolución industrial desde las relaciones internacionales. En *Oportunidades y retos para la adopción de la Industria 4.0 en México* (pp. 37–58). UNAM - PyV Editores.
- López Valdez, L. I. (2016). *La política industrial y la apertura comercial en México*. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/11/TESIS-L%C3%B3pez-Valdez-Laura-Ivonne.pdf>
- López-Calva, L. F., & Vélez Grajales, R. (2003). ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO HUMANO PNUD México No. 2003-. *PNUD*, 2003–1, 46.
- Luhmann, N. (1981). *Teoría Política en el Estado de Bienestar*. Alianza Editorial.
- Martínez, A. L. (Director). (2021, octubre 27). *Desigualdades digitales hoy en América Latina y el Caribe* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=CfpwIpu-mVg>
- Martínez, A., Santos, M. J., & de Gortari, R. (2022). El impulso al sistema de innovación para transitar hacia la I4.0: El caso de Guanajuato. En *Oportunidades y retos para la adopción de la Industria 4.0 en México* (pp. 105–144). UNAM - PyV Editores.
- Martínez, V. (Director). (2021, octubre 26). *¿Qué es la Inteligencia Artificial?* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=xVRNPry7LJY>
- Mazzucato, M. (2013). *The Entrepreneurial State*. Anthem Press.
- Mazzucato, M., & Rainer, K. (2024, mayo 7). *What Mission-Driven Government Means / by Mariana Mazzucato & Rainer Kattel*. Project Syndicate. <https://www.project-syndicate.org/commentary/mission-driven-government-what-it-means-and-common-misconceptions-by-mariana-mazzucato-and-rainer-kattel-1-2024-05>
- Mejía, M. I. (Director). (2021, octubre 27). *Inteligencia Artificial y Política Pública* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=6GMDiJbGNzk>
- Mexico Industry. (2017, julio 1). Presentan iniciativa Nuevo León 4.0. *MexicoIndustry*. <https://mexicoindustry.com/noticia/presentan-iniciativa-nuevo-len-4-0>
- Micheli Thirion, J. (2022). Fuerzas productivas en la digitalización: El contexto y estructura de la Industria 4.0. En *Oportunidades y retos para la adopción de la Industria 4.0 en México* (pp. 23–36). UNAM - PyV Editores.

- Miliban, R. (1971). *El Estado en la sociedad capitalista*. Siglo XXI.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (2021). *Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial*. [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-diagramacao\\_4-979\\_2021.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinteligenciaartificial/ebia-diagramacao_4-979_2021.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Productivo. (2020, abril). *Plan de desarrollo Productivo Argentina 4.0*. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan\\_de\\_desarrollo\\_productivo\\_argentina\\_4.0.vf\\_\\_2.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_desarrollo_productivo_argentina_4.0.vf__2.pdf)
- Moret Millás, V. (2019, junio 17). Cómo la expansión de la tecnología 5G está provocando una batalla geopolítica. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48663470>
- Muñoz Jiménez, J. A. (2017). 2.1. *Estándares y organismos de normalización—Planificación y Administración de Redes*. <https://planificacionadministracionredes.readthedocs.io/es/latest/Tema02/Teoria.html>
- Negri, A. (1996). Twenty Theses on Marx: Interpretation of the Class Situation Today. En S. Makdisi, C. Casarino, & R. Karl (Eds.), *Marxism Beyond Marxism* (pp. 149–180). Routledge.
- Nick, G., & Pongrácz, F. (2016). How to Measure Industry 4.0 Readiness of Cities. *Industry 4.0*, 1(2), 136–140.
- NIST. (2019). Revitalizing American Leadership in Advanced Manufacturing. *NIST*. <https://www.nist.gov/speech-testimony/revitalizing-american-leadership-advanced-manufacturing>
- Nosalska, K., Piątek, Z., Mazurek, G., & Rządca, R. (2019). Industry 4.0: Coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of Manufacturing Technology Management, ahead-of-print*, 837–862. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>
- NSF. (2021, enero 7). *Cyber-Physical Systems (CPS)*. NSF - National Science Foundation. <https://new.nsf.gov/funding/opportunities/cyber-physical-systems-cps>
- NYCE, I. (2022). Quiénes Somos. *NYCE*. <https://www.nyce.org.mx/quienes-somos/>
- Observatorio de IA. (2017, marzo 21). *Kurzweil: La IA será inteligente en 2029 y nos fusionaremos con ella en 2045 | Observatorio IA*. <https://observatorio-ia.com/kurzweil-ia-inteligente-2029-nos-fusionaremos-2045>
- Ocampo, L., Himang, C., Obiso, J.-J., Bongo, M., Caballes, S. A., Abellana, D. P., Jabilles, E. M., Deocarís, C., & Ancheta, R. (2021). Industry 4.0 Indicators and Their Roles in Strategy Formulation. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 20(03), 631–662. <https://doi.org/10.1142/S0219686721500311>
- OCDE. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide*. <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>
- Oficina del Gabinete. (2020, febrero 19). *Society 5.0*. [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html)



- Oficina del Gabinete. (2022, noviembre 14). *Society 5.0*. Cabinet Office Home Page. [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html)
- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf)
- ONU. (2018). *Anexo. Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. [https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework\\_A.RES.71.313%20Annex.Spanish.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework_A.RES.71.313%20Annex.Spanish.pdf)
- ONU. (2022a). *Infraestructura—Desarrollo Sostenible*. Objetivos del Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- ONU. (2022b). *Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- ONU, A. G. (2016). *Promoción, protección y disfrute de los derechos humanos en Internet (A/HRC/32/L.20)*. ONU. [https://ap.ohchr.org/documents/S/HRC/d\\_res\\_dec/A\\_HRC\\_32\\_L20.pdf](https://ap.ohchr.org/documents/S/HRC/d_res_dec/A_HRC_32_L20.pdf)
- Ortega, A. (2019). Geopolítica de la Cuarta Revolución Industrial. *Economistas*, 165, 21–24.
- Osorio, J. (2017). Capitalismo, Estado y sistema mundial: Contradicciones económicas y políticas. *Crítica marxista*, 44, 73–85.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Parlamento Europeo. (2019, octubre 3). *¿Qué es la neutralidad de carbono y cómo alcanzarla para 2050? | Noticias | Parlamento Europeo*. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190926STO62270/que-es-la-neutralidad-de-carbono-y-como-alcanzarla-para-2050>
- Patel, S. J. (2005). *Technological Transformation in the Third World: Volume 5: The Historic Process*. Routledge & CRC Press. <https://www.routledge.com/Technological-Transformation-in-the-Third-World-Volume-5-The-Historic/Patel/p/book/9780815364054>
- Pauli, G. (2011). *La economía azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos. Un informe para el Club de Roma*. Tusquets Editores.
- PCAST. (2011). *Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing* (p. 56). <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>
- Pérez, C. (2004). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero. La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. Siglo XXI.
- Pérez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34, 185–202.

- Pérez, E. (2021, marzo 28). *Los transistores más pequeños jamás creados: Estas son las soluciones para miniaturizar la electrónica más allá de los 2 nanómetros*. Xataka. <https://www.xataka.com/componentes/transistores-pequenos-jamas-creados-estas-soluciones-para-miniaturizar-electronica-alla-2-nanometros>
- Petras, J., & Veltmeyer, H. (2019). Imperialismo, capitalismo y desarrollo. En *Guía esencial para los estudios críticos del desarrollo*. CIDES-UMSA.
- Pieranni, S. (2019, abril 12). *What's behind China's 'Sharp Eyes'*. Il Manifesto Global. <https://global.ilmanifesto.it/whats-behind-chinas-sharp-eyes/>
- Plokiko. (2020, abril 18). *Así está siendo la llegada del 5G a los 19 primeros países en implantarlo comercialmente*. Xataka Móvil. <https://www.xatakamovil.com/mercado/asi-esta-siendo-llegada-5g-a-19-primeros-paises-implantarlo-comercialmente>
- Portelli, H. (1977). *Gramsci y el bloque histórico*. Siglo XXI.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014, noviembre 1). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
- Poulantzas, N. (1973). *Poder político y clases sociales en el Estado capitalista*. Siglo XXI.
- Powell, M. (2006). Which Knowledge? Whose Reality? An Overview of Knowledge Used in the Development Sector. *Development in Practice*, 16(6), 518–532.
- Presidencia de la Nación. (2020, julio 9). *Plana Nacional de Inteligencia Artificial—ArgenIA*. <https://ia-latam.com/wp-content/uploads/2020/09/Plan-Nacional-de-Inteligencia-Artificial.pdf>
- Presidencia de la República. (2018, marzo 22). *Estrategia de Inteligencia Artificial MX 2018*. <http://www.gob.mx/epn/articulos/estrategia-de-inteligencia-artificial-mx-2018>
- Protska, O. (2023, abril 18). *Top 10 De las empresas tecnológicas más grandes del mundo en el 2023*. FXSSI - Indicador de Sentimiento de Forex. <https://es.fxssi.com/las-empresas-tecnologicas-mas-grandes>
- Qureshi, Z. (2017). *Tecnología avanzada, pero crecimiento más lento y desigual: Paradojas y políticas*. <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/tecnologia-avanzada-pero-crecimiento-mas-lento-y-desigual-paradojas-y-politicas/>
- Rodríguez, P. (2014, octubre 3). *Small Cells, ¿la solución a los problemas de cobertura y ancho de banda móvil?* Xataka Móvil. <https://www.xatakamovil.com/conectividad/small-cells-la-solucion-a-los-problemas-de-cobertura-y-ancho-de-banda-movil>
- Romero, J. (2016). Política industrial: Única vía para salir del subdesarrollo. *Economía Informa*, 397, 3–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.03.002>
- Rothwell, R., & Zegveld, W. (1981). *Industrial Innovation and Public Policy: Preparing for the 1980s and the 1990s*. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Industrial%20Innovation%20and%20Public%20Policy%3A%20Preparing%20for%20the%201980s%20and%20the%201990s&publication\\_year=1981&author=R.%20Rothwell&author=W.%20Zegveld](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Industrial%20Innovation%20and%20Public%20Policy%3A%20Preparing%20for%20the%201980s%20and%20the%201990s&publication_year=1981&author=R.%20Rothwell&author=W.%20Zegveld)

- RS&RAE. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. Royal Society : Royal Academy of Engineering.
- Ruiz, A. (2021). *Los factores externos de la política pública, un análisis comparado desde el establecimiento de la agenda*. Flacso.
- Sacristán, L. (2022, marzo 31). *6G: Todo sobre su tecnología y cuándo llegará la próxima generación de redes móviles*. Xataka Móvil.  
<https://www.xatakamovil.com/nuevo/6g-toda-informacion>
- SAM. (2018). *Strategy for American Leadership in Advanced Manufacturing*.  
<https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>
- Sargent, J. F. (2022). *Manufacturing USA: Advanced Manufacturing Institutes and Network (R46703)*. Congressional Research Service.  
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46703/9>
- Schumpeter, J. A. (1939). *Ciclos económicos: Análisis teórico, histórico y estadístico del procesos capitalista*. Prenas Universitarias de Zaragoza.
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Folio.
- Schütze, A., Helwig, N., & Schneider, T. (2018). Sensors 4.0 – smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 359–371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial*. Debate.
- SE. (2016a, abril). *Crafting The Future: A Roadmap for Industry 4.0 in Mexico*.  
<https://amiti.org.mx/wp-content/uploads/2018/01/Crafting-the-future-10-agosto-2016.pdf>
- SE. (2016b, mayo 23). *Programa para el Desarrollo de la Industria de Software y la Innovación PROSOFT (presentación)*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/490934/PROSOFT\\_VF.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/490934/PROSOFT_VF.pdf)
- SE. (2018, octubre). *Libro blanco. Programa para el desarrollo de la industria del software (Prosoft) 2012-2018*.  
<https://www.economia.gob.mx/files/gobmx/librosblancos/LIBRO%20BLANCO%20PROSOFT.pdf>
- SE. (2020). *Programa Sectorial de Economía 2020-2024*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559457/Programa\\_Sectorial-ECONOM\\_A\\_final\\_validada.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559457/Programa_Sectorial-ECONOM_A_final_validada.pdf)
- SE. (2024). *Fondo Pyme*. <http://www.fondopyme.gob.mx/>
- Secretaría de Economía. (2016). *Acerca de. Prosoft Industria 4.0 MX*.  
<https://prosoft.economia.gob.mx/acercade/>
- Secretaría de Economía. (2019). *Programa para el Desarrollo de la Industria de Software (PROSOFT) y la Innovación 2019*. Gobierno de México.  
<http://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/programa-para-el-desarrollo-de-la-industria-de-software-prosoft-y-la-innovacion-2016>

- Secretaría de Hacienda. (2020, junio). *Estructura programática a emplear en el proyecto de presupuesto de egresos de 2021*.  
[https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF/2021/estructura\\_programatica/1\\_EstructurasProgramaticas\\_paraPPEF2021.pdf](https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF/2021/estructura_programatica/1_EstructurasProgramaticas_paraPPEF2021.pdf)
- Segob. (2016, mayo 17). En México, el acceso a internet es un derecho constitucional. *gob.mx*. <http://www.gob.mx/gobmx/articulos/en-mexico-el-acceso-a-internet-es-un-derecho-constitucional>
- Semarnat. (2018, julio 24). Diferencia entre sustentable y sostenible. *Gobierno de México*.  
<http://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>
- Semarnat. (2021). *Índice y grado de marginación, 2020*.  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServletd5a8.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletd5a8.html)
- Solex. (2021, febrero 5). *Conozca las 4 revoluciones industriales y las tecnologías que las impulsaron*. <https://www.solex.biz/noticias/revoluciones-industriales-tecnologias-impulsaron/>
- Soltovski, R., Resende, L. M. M. de, Pontes, J., Yoshino, R. T., & Silva, L. B. P. da. (2020). Um estudo quantitativo sobre os riscos da Indústria 4.0 no contexto industrial: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, 17(3), Article 3. <https://doi.org/10.25112/rgd.v17i3.2245>
- Song, J., Price, D. J., Guvenen, F., Bloom, N., & von Wachter, T. (2019). Firming Up Inequality\*. *The Quarterly Journal of Economics*, 134(1), 1–50.  
<https://doi.org/10.1093/qje/qjy025>
- Sotelo Valencia, A. (2020). *Marxismo y Dependencia*. 25(89), 83–97.
- Swiss Re Institue. (2019, mayo). *New emerging risk insights*. <https://ehtrust.org/wp-content/uploads/Swiss-Re-SONAR-Publication-2019-excerpt-1.pdf>
- Talisayon, S. (2008). *Community Wealth Rediscovered—Knowledge for Poverty Alleviation*. Center for Conscious Living Foundation and Peace Equity Access for Community Empowerment Foundation.  
[https://www.academia.edu/11526885/Community\\_Wealth\\_Rediscovered\\_Knowledge\\_for\\_Poverty\\_Alleviation](https://www.academia.edu/11526885/Community_Wealth_Rediscovered_Knowledge_for_Poverty_Alleviation)
- Taylor, D. (2007). *Anticipatory Conformity: Will the Growing Surveillance Panopticon Cause us to Self-censor? Old-thinker news*.  
[http://sonmi.weebly.com/uploads/2/4/7/4/24749526/anticipatory\\_conformity\\_-\\_will\\_the\\_growing\\_surveillance\\_panopticon\\_cause\\_us\\_to\\_self-censor.pdf](http://sonmi.weebly.com/uploads/2/4/7/4/24749526/anticipatory_conformity_-_will_the_growing_surveillance_panopticon_cause_us_to_self-censor.pdf)
- Tsuzuki, T. (2009). Commercial scale production of inorganic nanoparticles. *International Journal of Nanotechnology*, 6(5), 567–578.  
<https://doi.org/10.1504/IJNT.2009.024647>
- UIT. (2022). *El UIT-T en breve*. ITU. <https://www.itu.int:443/es/ITU-T/about/Pages/default.aspx>
- UNCTAD. (2019, septiembre 4). *Comunicado de prensa 023*. <https://unctad.org/es/press-material/segun-un-informe-de-las-naciones-unidas-es-preciso-actuar-nivel-mundial-para>

- UNESCO. (2021). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial—UNESCO Biblioteca Digital*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa)
- UNIDO. (2017, abril). *Industry 4.0. Preparing for the 4th Industrial Revolution*. [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/WSIS%202017\\_final\\_3\\_online.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-06/WSIS%202017_final_3_online.pdf)
- Universidad Internacional de Valencia. (2018). *Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G*. VIU. <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>
- Valtierra Navarro, M. (2023, octubre 12). En la ruta hacia la industria 4.0. *El Heraldo de Aguascalientes*. <https://www.heraldo.mx/en-la-ruta-hacia-la-industria-4-0/>
- Veltmeyer, H. (2010). Una sinopsis de la idea de desarrollo. En *Visiones del desarrollo*. Miguel Ángel Porrúa/UAZ.
- Veltmeyer, H., & Bowles, P. (2019). Estudios Críticos del Desarrollo: Una Introducción. En *Guía Esencial para Estudios Críticos de Desarrollo*. Plural / CIDES-UMSA.
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, *11*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- Visión Industrial. (2018, febrero 24). Presentan documento “Plan Estatal de Desarrollo 2040” en Guanajuato. *Visión Industrial*. <https://visionindustrial.com.mx/industria/noticias/presentan-documento-plan-estatal-de-desarrollo-2040-en-guanajuato>
- Volpe Rodrigues, T., dos Santos Filho, V. H., Pontes, J., Martins de Resende, L. M., & Tadashi Yoshino, R. (2020). *Government Initiatives 4.0: A Comparison Between Industrial Innovation Policies for Industry 4.0*.
- White, G., & Wade, R. (1996). Estados promotores del desarrollo y mercados en el Este de Asia: Una introducción. En *México en la Cuenca del Pacífico* (pp. 163–190). UNAM.
- Yang, H., Kim, S. Y., & Yim, S. (2019). A Case Study of the Korean Government’s Preparation for the Fourth Industrial Revolution: Public Program to Support Business Model Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *5*(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/joitmc5020035>
- Yanhong, Y., & Yuzhen, W. (2020). Germany’s Industry 4.0 Guiding China’s development Based on the Perspective of Cyber Physical Systems. En *German and Chinese Contributions to Digitalization. Opportunities, Challenges, and Impacts*. Springer Gabler.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, *56*(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., & Bocarando Chacón, J. G. (2017). El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras. *ConCiencia Tecnológica*, *54* (julio-diciembre), 33–45.

- Yoguel, G., Pereira, M., & Barletta, F. (2016). Los sistemas de innovación y la política industrial y tecnológica. En *Repensando el desarrollo latinoamericano. Una discusión desde los sistemas de innovación* (pp. 318–350). UNGS.
- Žižek, S. Š., Nedelko, Z., Mulej, M., & Čič, Ž. V. (2020). Key Performance Indicators and Industry 4.0 – A Socially Responsible Perspective. *Naše gospodarstvo/Our economy*, 66(3), 22–35. <https://doi.org/10.2478/ngoe-2020-0015>

## SEMBLANZA

La autora es Licenciada en Ciencias Políticas y Administración Pública por la Universidad Autónoma de Querétaro y Maestra en Administración y Políticas Públicas por el Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C. Tiene amplia experiencia en investigación y docencia, y ha participado en proyectos multidisciplinarios para organizaciones como ONU-Hábitat, Fundación Walmart y Cidesi. profesor en el área de Economía del Desarrollo en la Universidad Nacional Autónoma de México y ha colaborado en diversos proyectos. Correo electrónico: angeles.ortiz.espinoza@gmail.com.

© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.

Forma de citar:

Ortiz-Espinoza, Ángeles (2024). “Componentes de la Industria 4.0: una propuesta de medición”. Tesis de Doctor en Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas, México. No pp. 194