

# Industria 4.0 en la PYME: ¿Cómo nos subimos a esta revolución?

Michelle Azuaje Pirela · Mauricio Castillo-Vergara · Carlos J. García · Cristian Geldes



## INDUSTRIA 4.0 EN LA PYME: ¿CÓMO NOS SUBIMOS A ESTA REVOLUCIÓN?

© Centro Interdisciplinar de Políticas Públicas (CiPP)

Derechos reservados.

Primera edición, abril 2024

### **Autores**

Michelle Azuaje Pirela, académica Facultad de Derecho UAH e investigadora CiPP.

Mauricio Castillo-Vergara, académico Facultad de Economía y Negocios UAH e investigador CiPP.

Carlos J. García, académico Facultad de Economía y Negocios UAH e investigador CiPP.

Cristian Geldes, académico Facultad de Economía y Negocios UAH e investigador CiPP.

### **Edición y coordinación Serie Policy Papers CiPP sobre Políticas Públicas**

Ximena Concha Bañados, directora ejecutiva CiPP.

### **Asistente de edición**

Paulo Matus González

### **Diseño**

Javiera Vásquez

### **Fotografía de portada**

Unsplash

Esta publicación es parte de la Serie Policy Papers CiPP sobre Políticas Públicas.

---

La **Serie Policy Papers CiPP sobre Políticas Públicas** tiene como objetivo difundir, desde un enfoque interdisciplinar, recomendaciones de política pública que surgen de investigaciones realizadas por académicos y académicas de la Universidad Alberto Hurtado adscritos al Centro Interdisciplinar de Políticas Públicas, CiPP. Esta primera serie contiene publicaciones que se enmarcan en el **Ciclo de Coloquios sobre Políticas Públicas**, organizado por el CiPP entre agosto y noviembre de 2023, con la intención de generar una **plataforma de reflexión interdisciplinaria** sobre temas de interés público. A través de la **identificación de recomendaciones** para las y los tomadores de decisiones, se busca **acercar la academia a las necesidades de la sociedad**.

**SERIE POLICY PAPERS CIPP**

---

# **Industria 4.0 en la PYME: ¿Cómo nos subimos a esta revolución?**

# Industria 4.0 en la PYME: ¿Cómo nos subimos a esta revolución?

**Michelle Azuaje Pirela**

Académica Facultad de Derecho e investigadora CiPP UAH.

**Mauricio Castillo-Vergara**

Académico Facultad de Economía y Negocios e investigador CiPP UAH.

**Carlos J. García**

Académico Facultad de Economía y Negocios e investigador CiPP UAH.

**Cristian Geldes**

Académico Facultad de Economía y Negocios e investigador CiPP UAH.

## RESUMEN EJECUTIVO

La Industria 4.0, también conocida como la Cuarta Revolución Industrial, ha revolucionado la forma en que las empresas operan y compiten en el mercado global. Sin embargo, su adopción en las pequeñas y medianas empresas (Pymes) presenta desafíos significativos debido a limitaciones de recursos y conocimientos tecnológicos. En este policy paper, analizamos la importancia de promover políticas públicas que faciliten la incorporación de la Industria 4.0 en las Pymes, con un enfoque en la economía actual y futura.

Las Pymes son un pilar fundamental de la economía en muchas partes del mundo, generando empleo y contribuyendo al crecimiento económico. Sin embargo, a menudo carecen de los recursos necesarios para adoptar tecnologías avanzadas que caracterizan la Industria 4.0, como la automatización, el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial. Los desafíos que enfrentan incluyen la falta de acceso a financiamiento, la escasez de habilidades técnicas y la resistencia al cambio.

La Industria 4.0 ofrece a las Pymes oportunidades significativas para mejorar su productividad, eficiencia y competitividad. La automatización de procesos puede reducir los costos laborales y mejorar la calidad del producto, mientras que la recopilación y análisis de datos en tiempo real permiten tomar decisiones más informadas. Además, la interconexión de dispositivos y sistemas puede mejorar la logística y la gestión de la cadena de suministro.

Para facilitar la adopción de la Industria 4.0 en las Pymes, se proponen una serie de políticas públicas clave, analizadas con una mirada multidisciplinaria. Esto es, desafíos de la gestión empresarial, desafíos económicos y desafíos regulatorios.

## 1. INTRODUCCIÓN

El término Industria 4.0 tiene su origen en el alemán 'Industrie 4.0' inventado en 2011 en Alemania como una iniciativa del Gobierno Federal alemán para fortalecer la competitividad de la industria manufacturera alemana. Este concepto tiene como elemento central la Fabricación Inteligente, también considera la integración de la fábrica con todo el ciclo de vida del producto y las actividades de la cadena de suministro, cambiando incluso la forma en que las personas trabajan (Frank et al., 2019). La Industria 4.0 se basa en la adopción de tecnologías digitales para recopilar datos en tiempo real y analizarlos, proporcionando información útil al sistema de fabricación. La llegada del Internet de las Cosas (IoT), los servicios en la nube, el big data y la analítica, lo hicieron posible, creando el concepto de sistema ciberfísico de la Industria 4.0.

Son diversas las tecnologías desplegadas para el desarrollo de I4.0, (1) Big Data y Analítica, (2) Robots Autónomos, (3) Simulación, (4) Integración Horizontal y Vertical de Sistemas, (5) Internet de las Cosas (IoT) (incluyendo sensores), (6) Ciberseguridad, (7) Computación en la Nube, (8) Fabricación Aditiva, (9) Realidad Aumentada, (10) Inteligencia Artificial, (11) Tecnologías Móviles y (12) Tecnologías de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) y Sistema de Localización en Tiempo Real (RTLS) (Stentoft et al., 2021).

Los beneficios clave de I4.0 reportados en la literatura incluyen: reducción de costos; mejoras en la calidad, la eficiencia, la flexibilidad y la productividad; y una ventaja competitiva (Castillo-Vergara et al., 2022a). La Industria 4.0 representa una revolución tecnológica que está transformando por completo la forma en que

trabajamos, producimos y vivimos. Esta revolución permite que las máquinas se comuniquen entre sí, recopilen y analicen enormes cantidades de datos en tiempo real, y tomen decisiones inteligentes de forma "autónoma". Sin embargo, la Industria 4.0 no es solo una cuestión de tecnología, sino también de cambio cultural y organizativo. Está abriendo nuevas oportunidades para la eficiencia, la personalización de productos, la optimización de procesos y la creación de nuevos modelos de negocio. Su impacto es tal, que se establece que la Industria 4.0 permitirá afrontar los retos actuales relacionados con la eficiencia de los recursos y la energía, la producción urbana y el cambio demográfico, permitiendo una productividad y eficiencia continuas de los recursos (Somohano-Rodriguez et al., 2020).

Si bien el interés por I4.0 se ha acrecentado, la mayoría de las investigaciones que abordan los factores que afectan la implementación, se crean para o por, organizaciones grandes o multinacionales. Aun cuando las empresas grandes y multinacionales contribuyen significativamente a la economía, no se puede ignorar que las pequeñas y medianas empresas constituyen una presencia importante, y su impacto es sustancial: crean empleo, crecimiento económico y aseguran estabilidad social (Castillo-Vergara et al., 2022b).

La investigación existente muestra que una serie de limitaciones impiden que muchas Pyme miren más allá de las capacidades técnicas actuales e identifiquen tecnologías emergentes. Su implementación depende de muchos medios tecnológicos que la Pyme tiene dificultades para desplegar y características de gestión como falta de experiencia, recursos limitados, falta de métodos, políticas de gobierno y factores de mercado pueden impedir la adopción (Castillo-Vergara, 2023). Por estas razones, la introducción de tecnologías I4.0

en la Pyme sigue siendo un desafío, particularmente en mercados emergentes, ya que las dificultades se acrecientan en comparación con países desarrollados.

Los precursores de la Industria 4.0, como Alemania o EE. UU., han centrado sus esfuerzos en invertir en nuevas tecnologías para mantener la productividad y relocalizar determinados sectores económicos, ya que es lo que impulsa el desarrollo y bienestar de estas sociedades. La aplicación de herramientas tecnológicas en el sector público, aunque también se pusieron en marcha, no fue su objetivo primordial. En la región latinoamericana, este enfoque industrial de las nuevas tecnologías sigue estando poco desarrollado. Por ello, se requiere un mayor esfuerzo de inversión y reflexión que conjugue la necesidad de desarrollo económico más allá del sector primario y las nuevas tecnologías de la Industria 4.0, para avanzar hacia una recuperación sostenible y una verdadera economía del conocimiento sin dejar a nadie atrás.

Con estos argumentos, es vital que se aborden los desafíos y estrategias que deben ser impulsados para la incorporación de esta revolución en las pequeñas y medianas empresas desde una perspectiva multidisciplinaria que disponga de evidencia científica para los formuladores de políticas públicas. En este trabajo, abordamos este llamado, con una mirada multidisciplinaria. En primer lugar, abordamos los desafíos de gestión que enfrentan las Pymes al abordar la incorporación de estas tecnologías en sus organizaciones. Luego, se presenta un análisis sobre la literatura del impacto económico de los robots y tecnologías relacionadas (IA) y, en base al estudio de García y González (2023) se presenta el impacto de esta revolución tecnológica separando los efectos por países de renta alta, media-alta y media-baja, con énfasis en los países de renta me-

dia-alta donde se ubica Chile. En base a estos resultados, se discuten algunas alternativas de políticas en el ámbito de la inversión pública en estas tecnologías y en la preparación de capital humano necesario para que los trabajadores no sean reemplazados por estas máquinas y programas computacionales. Por último, se presentan los desafíos regulatorios al abordar el escenario actual de la inteligencia artificial (IA) que, por una parte, se ofrece como una tecnología con un gran potencial para fomentar la innovación y mejorar la competitividad de las organizaciones, y, por otra parte, lleva aparejados diversos desafíos éticos y regulatorios que es necesario abordar.

## 2. DESAFÍOS DE LA GESTIÓN EMPRESARIAL

Desde el punto de vista de la gestión empresarial, la implementación y desarrollo de la Industria 4.0 representa una gran oportunidad para las empresas, ya que las distintas tecnologías relacionadas tienen efectos positivos en el desempeño empresarial, incremento de la rentabilidad, desempeño y flexibilidad operacional, ventas, tasa de ocupación de la capacidad, nivel y velocidad de producción, calidad de los productos y reducción de costos (Szász et al., 2020; Duman & Akdemir, 2021). Sin embargo, se debe considerar que no todas las tecnologías de la Industria 4.0 tienen efectos prometedores en el rendimiento industrial, ya que su implementación depende del contexto institucional, especialmente en economías emergente donde las empresas se enfrentan a distintos obstáculos como la carencia de estrategias digitales, la escasez de recursos, falta de conocimiento especializado, mirada de largo plazo (estratégico) y rol promotor de directivos de empresas (Dalenogare et al., 2018; Raj

et al., 2020; Moeuf et al., 2020).

En el caso de las PYMEs, la Industria 4.0 ofrece una oportunidad única para rediseñar los procesos de producción, adoptar y crear nuevos modelos de negocio, desarrollar nuevos productos y procesos (Moeuf et al., 2020; Szász et al., 2020; Somohano-Rodríguez et al., 2020). Además, representa una oportunidad para las empresas de economías emergentes para abordar sus diferencias con los países desarrollados (Primi & Toselli, 2020). Sin embargo, Yu & Schweisfurth (2020) indican la necesidad de desarrollar las distintas tecnologías de la Industria 4.0 en las PYMEs, ya que al momento muchas veces se ha limitado a la computación en la nube y la internet de las cosas. Sin embargo, hay importantes desafíos que deben ser abordados para implementar la amplia gama de tecnologías y sus aplicaciones que componen la Industria 4.0, como son la falta de conocimiento, capacitación del personal, la necesidad de incorporar su implementación en la planificación estratégica, disponer de tecnologías digitales facilitadoras de la información y comunicación, así como de tecnologías digitales facilitadoras de la robótica avanzada e integración, por lo que muchas veces se requiere el apoyo de asesores externos (Moeuf et al., 2020; Primi & Toselli, 2020; Yu & Schweisfurth (2020). Estos antecedentes permiten destacar la necesidad de desarrollar políticas orientadas a la promoción, adaptación y desarrollo de las tecnologías de la Industria 4.0 en las empresas, considerando sus capacidades y recursos (Raj et al., 2020; Primi & Toselli, 2020; Yu & Schweisfurth, 2020). Teniendo en cuenta que la tecnología tiene un impacto en la innovación, y es una decisión que implica diferentes niveles de complejidad en una empresa, promover

políticas públicas que estimulen la inversión en tecnología generará un incremento de I+D en los sistemas de innovación. Y esto puede llevar a las empresas a ser más competitivas, afectando directamente al empleo y al crecimiento económico de los países (Castillo-Vergara & García-Pérez-de-Lema 2021).

Esta afirmación muestra la importancia de promover políticas públicas que estimulen la inversión en I+D en los sistemas de innovación. Puede llevar a las empresas a ser más competitivas, afectando directamente al empleo y al crecimiento económico de los países.

Dado lo anterior, desde el punto de vista de la gestión empresarial es clave para implementar la Industria 4.0 en las PYMEs el conocimiento y especialmente la decisión estratégica de incorporar las tecnologías más acordes a sus procesos y modelo de negocio. Esto implica que las empresas deberían generar una política y programas, destinando recursos y personal para la implementación de estas tecnologías. No es suficiente realizar pequeñas o específicas incorporaciones de las tecnologías para que las empresas sean exitosas en este nuevo paradigma. Sin dudas, esto requiere de capacidades tecnológicas al interior de las empresas, personal capacitado y acceso a recursos financieros (Heredia et al., 2019; Heredia et al., 2022). Por lo mismo, la difusión de los beneficios y sobre todo la capacitación y financiamiento en las tecnologías 4.0 resulta esencial para las empresas.

Complementariamente, la implementación de la Industria 4.0 en las pequeñas y medianas empresas se verá favorecida en la medida que se insertan en un ecosistema emprendedor e innovador que responda a las demandas de las empresas respecto de la Industria 4.0. Esto quiere decir, que las empresas



necesitarán de proveedores de insumos y servicios de las tecnologías 4.0, universidades e institutos de investigación que adapten y elaboren aplicaciones tecnológicas a la realidad local y global, universidades difundiendo y capacitando en las distintas tecnologías, instituciones públicas fomentando, facilitando, regulando y generando las condiciones para este desarrollo, e instituciones públicas y privadas que faciliten el acceso al financiamiento (Benítez et al., 2020; Boisier et al., 2021).

### 3. DESAFÍOS ECONÓMICOS

En esta sección se cuantifica el impacto de los robots y tecnologías relacionadas (IA) en la economía separando los efectos por países de renta alta, media-alta y media-baja, y así tener no solo un diagnóstico más certero sobre los posibles efectos que enfrentará nuestro país en los próximos años, sino también las alternativas de políticas, en caso de que este efecto sea heterogéneo. En efecto, si esta revolución tecnológica es decididamente positiva en los países desarrollados, entonces se pueden obtener lecciones valiosas para nuestro país.

Al respecto, se espera que se produzcan variaciones significativas en la forma en que los robots y tecnologías relacionadas repercutirán en los distintos países según su grado de desarrollo. En especial, porque desde una perspectiva de medio plazo, existen importantes obstáculos para el desarrollo del capital humano en los dos últimos grupos de países mencionados. La literatura indica que un aspecto clave en el desarrollo del capital humano (Hanushek 2016), y posterior desempeño en el mercado laboral (Heckman et al. 2006), son las habilidades cog-

nitivas. Hanushek (2013) muestra que la brecha en estas habilidades entre países desarrollados y otros países es muy amplia, debido, básicamente, a la calidad de la educación en sus diferentes niveles. Por tanto, es razonable esperar que estas nuevas tecnologías superarán fácilmente a trabajadores con un capital humano intermedio o mal formado en los países en desarrollo.

Existe abundante literatura que apunta a un impacto negativo sobre las variables laborales y distributivas en los países desarrollados. Así, se espera caídas del empleo (Acemoglu y Restrepo 2020) y los salarios (Bergholt et al. (2022) y Leduc y Liu (2020)), aumento de la desigualdad (Acemoglu y Restrepo (2022), Prettner y Strulik (2020), y Berg et al. (2018)) y del desempleo (Cords y Prettner 2018). Aunque también se proyecta que no todos los efectos serán negativos sobre el trabajo, estudios recientes indica que los robots se introducirán en la atención de rehabilitación de accidentes (Kyrarini et al. (2021)), la reducción de tareas peligrosas (Pham et al. 2018) y la IA producirá avances revolucionarios en el diagnóstico precoz de enfermedades (Loh 2018).

Por otra parte, el efecto final sobre las economías desarrolladas será atenuado porque la innovación en técnicas de producción robótica y otras tecnologías relacionadas pueden producir efectos positivos significativos en estos países tanto directamente (reducción de los costes marginales de producción) como indirectamente a través del proceso de aprendizaje práctico para producir estas tecnologías.

En cambio, los estudios en los países emergentes y en desarrollo son limitados. Hasta donde sabemos, hay tres artículos recientes que abordan el tema: Carbonero (2020), Garcia et al (2020), y Maloney y

Molina (2019), encontrando resultados opuestos. Los dos primeros encuentran efectos negativos sobre la economía y el tercero sólo efectos marginales, aunque interpretables entre sí. Maloney y Molina (2019) dado que usa información histórica podría estar encontrando solo los efectos iniciales de sustitución de trabajadores en México y China, efectos que podrían extenderse a otros países emergentes en el futuro con más profundidad en la medida que la revolución y, por tanto, la introducción de estas tecnologías se asiente más en los países en desarrollo.

García et al (2020) argumentan, en primer lugar, que los países emergentes adoptarán los robots importando directamente las máquinas en lugar de producirlas debido a la falta de capital humano para su uso en sectores menos automatizados, como la industria y la agricultura, perdiendo todos los beneficios del aprendizaje práctico. Por lo tanto, se espera que estas economías experimenten efectos más graves sobre el empleo, ya que las nuevas tecnologías se caracterizan por sustituir puestos de trabajo en lugar de crearlos, lo que se traduce en una contracción económica. También argumentan que las exportaciones de estos países competirán en los mercados de los países de renta alta y requieren servicios de alta calidad que pueden ser sustituidos por robots, como la distribución, el transporte y la publicidad, actividades que requieren mucha mano de obra calificada.

Sin embargo, una separación tan marcada entre países puede tener importantes salvedades. De hecho, en los países de renta media-baja y baja, con economías orientadas a la producción de bienes básicos con empleos muy mal pagados, la probabilidad de introducir robots puede ser reducida. Así, podría ocurrir que el impacto de los robots a nivel global tuviera un efecto

similar al de una “U” desequilibrada: escaso impacto en los países de renta media-baja, negativo en los de renta media-alta, donde se encuentra Chile, y positivo en los de renta alta.

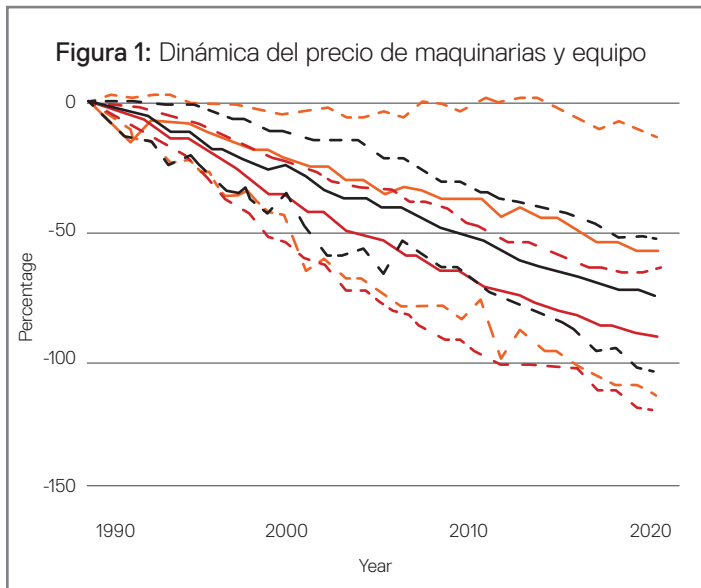
### 3.1 IMPACTO ECONÓMICO DE LOS ROBOTS Y TECNOLOGÍAS RELACIONADAS

Basándonos en el estudio de García y González (2023), ver los detalles técnicos directamente en ese estudio, podemos afirmar que los efectos de esta revolución no serán positivos para países como Chile. La Figura 2 muestra las respuestas de variables macroeconómicas claves por una caída para una proxy del precio de los robots de este estudio (conocidas por funciones de respuesta al impulso, puesto que muestran la evolución de una variable a través de los años después que cae la proxy del precio de los robots). Determinar el efecto empírico de una caída del precio de los robots sobre las economías es un problema complejo desde el punto de vista de las técnicas estadísticas (econometría). Este problema surge porque, aunque la tecnología robótica se ha ido imponiendo en las últimas décadas, su efecto máximo aún no se ha producido o apenas se está desplegando en su verdadera magnitud, incluso en las economías desarrolladas.

La *proxy* seleccionada por García y González (2023) es el precio de los bienes de equipo - maquinaria y equipamiento, excluyendo la inversión en transporte y construcción. La similitud con el precio de los robots es evidente cuando se compara la Figura 1 de esta sección con la figura del costo de la automatización, presentado en Tilley (2017). Además, se sabe que maquinarias y equipos cada vez más sofisticado

han tendido a reemplazar trabajo humano en las últimas décadas. Sin duda, esta es una *proxy* discutible y, por tanto, una de las principales limitaciones de los resultados de García y González (2023), pero es una primera aproximación teniendo en cuenta no solo la falta de datos para los diferentes países, sino también la inexistencia de variables que midan apropiadamente una revolución que apenas empieza a tomar forma.

Considerando esta aproximación en el precio de



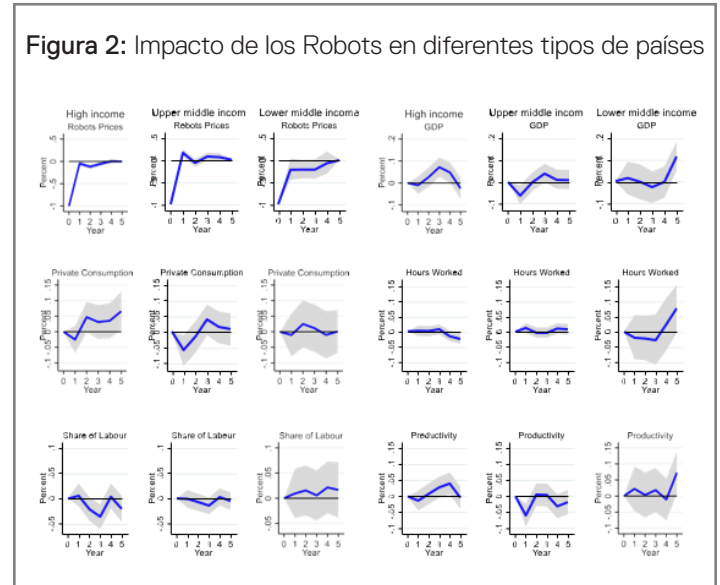
Notas: línea azul “países de renta alta”, línea roja “países de renta media-alta”, y línea verde “países de renta media-baja”. Intervalos: percentiles 25 y 75. Fuente: García y González (2023).

los robots, analizamos la Figura 2. Primero se debe notar que la caída de la aproximación del precio de los robots es igual para los tres grupos de países considerados. El impacto en el PIB es positivo para los países desarrollados a medio plazo (tres años), mientras que

para los países de renta alta y media es inmediatamente contractivo, grupo en el cual Chile está incluido. No hay ningún efecto estadísticamente significativo en el caso de los países menos desarrollados, es decir, de renta media y baja. Este resultado podría ilustrar en parte la hipótesis planteada por García et al. (2020): en la medida en que se desarrolla el efecto “*learning by doing*”, el impacto de la robotización acaba siendo positivo, que sería el caso de los países desarrollados.

Los efectos sobre otras variables siguen una dinámica similar para el consumo, aunque marginal para los países de renta alta, y la productividad. El resultado sobre la productividad es especialmente interesante porque podría estar indicando el efecto de “*learning by doing*” mencionado anteriormente.

Fuente: García y González (2023).



Las horas trabajadas y la participación laboral si-

guen una pauta ya estudiada en los países de renta alta: las horas trabajadas disminuyen a partir del cuarto año, pero la participación también cae. Sin embargo, en los países de renta media y alta la situación es bastante peor: la participación cae y las horas trabajadas no se ven afectadas. En los países de renta media y baja, no hay efectos estadísticamente significativos.

### 3.2 LECCIONES DESDE UN PUNTO DE VISTA ECONÓMICO

Los efectos positivos sobre el crecimiento del PIB, la productividad y el consumo privado se concentrarían en los países de renta alta, sin embargo, se confirman los efectos negativos sobre el mercado laboral. Por el contrario, en el resto de los países los efectos serían negativos o marginales.

Las implicaciones de los resultados de García y González (2023) se concentran en los países de renta media-alta. El impacto negativo de la robotización en estos países sugiere que las políticas de capital humano, la inversión pública y las subvenciones deben replantearse en los próximos años para permitir no sólo que la mano de obra de Chile se complemente con robots importados de los países desarrollados, sino también que Chile desarrolle sus propios robots y tecnologías de IA para mantener y mejorar sus ventajas comparativas de forma que puedan seguir compitiendo en los mercados internacionales.

Los hechos estilizados de esta sección indicarían, por tanto, que, si Chile no emprende las reformas necesarias para la producción e incorporación de robots y otras tecnologías similares, sus aspiraciones de alcanzar los niveles de renta de los países desarrollados volverán a retrasarse. Peor aún, en la medi-

da en que estas tecnologías se conviertan en pilares fundamentales del progreso tecnológico, Chile como otros países de renta media-alta podrían acabar convergiendo a niveles de renta media-baja.

### 3.3 PROFESIONES EN PELIGRO SEGÚN CHATGPT

Por robots

1. **Trabajos en líneas de fabricación y montaje:** Los robots se han utilizado ampliamente en la fabricación para tareas como la soldadura, la pintura y el montaje. Pueden trabajar las 24 horas del día sin fatiga y son muy precisos.
2. **Agricultura:** Los tractores autónomos y los drones se están utilizando en la agricultura para tareas como la siembra, la cosecha y el seguimiento de los cultivos, reduciendo la necesidad de mano de obra.
3. **Comercio minorista y almacenamiento:** Las máquinas de caja automatizadas y los robots que mueven mercancías dentro de los almacenes son cada vez más comunes, reduciendo la necesidad de cajeros y recolectores humanos.
4. **Atención al cliente:** Los chatbots y los asistentes virtuales se están utilizando para gestionar las consultas y la asistencia de los clientes, reduciendo la necesidad de representantes humanos de atención al cliente.
5. **Sanidad:** Los robots se utilizan para tareas como cirugía, dispensación de medicamentos y atención al paciente en algunos entor-

nos sanitarios, reduciendo la necesidad de ciertos profesionales sanitarios.

6. **Banca y finanzas:** Los algoritmos de negociación automatizados y los roboasesores están sustituyendo a algunos analistas y asesores financieros en la gestión de inversiones.
7. **Minería y exploración:** Los robots y los vehículos autónomos se están utilizando en la minería y la exploración para realizar tareas peligrosas y recopilar datos en entornos difíciles.
8. **Restauración:** Las cadenas de comida rápida y los restaurantes están experimentando con la automatización en la cocina y la preparación de alimentos.

Por IA

1. **Introducción y análisis de datos:** Los algoritmos de IA pueden automatizar la entrada y el análisis de datos, reduciendo la necesidad de empleados y analistas de entrada de datos humanos.
2. **Atención al cliente:** Los chatbots y asistentes virtuales potenciados por IA pueden gestionar las consultas rutinarias de los clientes y las solicitudes de asistencia, reduciendo la demanda de representantes humanos de atención al cliente.
3. **Comercio minorista:** Los sistemas de caja automatizados, como los quioscos de autopago, son cada vez más comunes en las tiendas minoristas, lo que reduce la necesidad de cajeros humanos.
4. **Transporte:** Los vehículos autónomos y los

drones de reparto pueden sustituir a los conductores de camiones, a los repartidores e incluso a algunos taxistas y conductores de vehículos compartidos

5. **Fabricación:** Los robots y las máquinas impulsadas por IA se utilizan cada vez más en la fabricación para tareas como el montaje, el control de calidad y la manipulación de materiales.
6. **Finanzas:** Los algoritmos de IA pueden utilizarse para el comercio automatizado, la detección de fraudes y el análisis financiero, lo que podría afectar a las funciones de los analistas y operadores financieros.
7. **Investigación jurídica:** El software basado en IA puede ayudar en la investigación jurídica y la revisión de documentos, reduciendo potencialmente la carga de trabajo de los asistentes jurídicos y los abogados junior.
8. **Sanidad:** La IA puede ayudar en el diagnóstico de enfermedades, el análisis de imágenes médicas y la gestión de historiales médicos, lo que puede repercutir en las funciones de radiólogos y archiveros médicos.
9. **Creación de contenidos:** La IA puede generar contenidos escritos, como artículos de noticias, informes e incluso escritura creativa, lo que podría afectar a puestos de trabajo en periodismo y creación de contenidos.
10. **Telemarketing:** Los chatbots y los sistemas de llamadas automatizados basados en IA pueden realizar llamadas de ventas y gestionar las consultas de los clientes, lo que podría afectar a las funciones de telemarketing.

#### 4. DESAFÍOS REGULATORIOS

En el escenario actual de la industria 4.0 juega un papel crucial el despliegue de la inteligencia artificial (IA) que, por una parte, se ofrece como una tecnología con un gran potencial para fomentar la innovación y mejorar la competitividad de las organizaciones, y, por otra parte, lleva aparejados diversos desafíos éticos y regulatorios que es necesario abordar.

Desde la perspectiva de las Pyme, las soluciones de big data y machine learning ofrecen la posibilidad de tomar decisiones basadas en datos para aumentar la productividad, optimizar diversos procesos, anticipar escenarios y minimizar costes. Así como también para mejorar la experiencia de los consumidores y usuarios, entre otras cosas, porque permiten planificar estrategias personalizadas. Del mismo modo, la IA podría facilitar el uso eficiente de los recursos para hacer a las organizaciones mucho más sostenibles.

La IA es una tecnología de múltiple propósito que alcanza a campos tan distintos como la salud, el trabajo, la educación, el transporte, la banca, el entretenimiento y el comercio, entre otros. Precisamente por ello, ya existe evidencia de que sus usos que pueden afectar derechos de las personas y su acceso a ciertas oportunidades (Pasquale, 2015; O'Neil, 2016; Crawford, 2021). En efecto, uno de los mayores retos para aprovechar los potenciales beneficios de la IA y otras tecnologías vinculadas con revolución 4.0 está precisamente en su gobernanza, para lo cual resulta necesario ser parte de los debates a nivel mundial y adoptar también soluciones a nivel nacional.

En relación con lo anterior, desde la perspectiva regulatoria el aprovechamiento de estas tecnologías está rodeado de diversos desafíos que abarcan -como mínimo- áreas tales como la laboral, la comercial y la propiedad intelectual e industrial y esto es particularmente importante para las economías en desarrollo.

Así lo destacó el informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) sobre “Tecnología e Innovación 2023” (UNCTAD, 2023), del cual se infiere que las economías desarrolladas están aprovechando la mayoría de las oportunidades de esta revolución tecnológica, dejando atrás a las economías en desarrollo. Esto puede deberse a la existencia de barreras en las legislaciones y también a la falta de políticas públicas focalizadas. Urgen entonces medidas para impulsar y aprovechar las tecnologías que acompañan a la industria 4.0, pero gestionando los riesgos.

En ese sentido, en dicho documento se instó a los gobiernos y a la comunidad internacional para que se aseguren de que tanto los acuerdos internacionales como la legislación nacional, especialmente, sobre comercio, propiedad intelectual y cambio climático sean coherentes entre sí. El llamado fue a que, en particular, el comercio internacional y las reglas de propiedad intelectual relacionadas con este proporcionen mayor flexibilidad para implementar políticas industriales y de innovación para sostener sus industrias nacientes (UNCTAD, 2023). Esto implicará que varios tratados en el área deberán actualizarse en los próximos años.

A continuación, señalamos algunas ideas clave sobre cuáles son algunos de estos desafíos y cómo abordarlos.

### a) Algunos desafíos éticos y jurídicos de la IA

Entre los problemas relacionados con el despliegue de la inteligencia artificial y otras tecnologías vinculadas con ella, se encuentra la “opacidad de los sistemas” que, según algunos expertos, también podría servir de tapadera o de una nueva forma de ocultar la manipulación de los consumidores y/o generar nuevos patrones de discriminación, así como violaciones a la privacidad y protección de datos personales, entre otros (Burrell, 2016; Coeckelbergh, 2021).

Como respuesta a esos y otros problemas surge la noción de “IA responsable” (Voenekey, et al., 2022), la que se desprende de diversos instrumentos nacionales e internacionales con directrices éticas que buscan crear nuevos principios y valores para moldear nuevos marcos de gobernanza<sup>1</sup> repensados para que las organizaciones aborden los desafíos que surgen de la aplicación de la IA (Bedecarratz & Aravena, 2023: 203-218), pero que en ciertos casos pueden extenderse también a otras tecnologías de la industria 4.0. En ese contexto, las propuestas regulatorias y de políticas públicas para adoptar estos nuevos enfoques pueden tener diversas formas (tales como re-

glamentos, leyes, circulares, etc.) y son una tarea urgente (Zaror, 2023: 237-248). Siendo particularmente urgente contar con una legislación de privacidad, protección de datos personales y ciberseguridad acordes con los tiempos que corren.

Con todo, dado que los procesos del Estado son lentos, las organizaciones que deseen hacer uso de estas tecnologías deben preocuparse desde ya por tomar en cuenta no solo los aspectos técnicos de sus desarrollos, sino además los aspectos éticos y jurídicos desde el diseño y por todo el ciclo de vida de los sistemas. Sobre la base de cuatro pilares principales: protección de la privacidad, prevención o eliminación del sesgo, transparencia y evaluación del impacto en las personas y la organización. Ellos implican que, como mínimo los modelos que se utilicen deben: a) ser transparentes, explicables, éticos y eficientes; b) su uso debe poder justificarse, así como también el proceso de toma de decisiones (para que pueda ser entendido por el usuario final medio); c) debe transparentarse también el origen y uso de los datos de entrenamiento; d) debe prevenirse el sesgo en los modelos de aprendizaje automático; y, e) debe garantizarse la adecuada gobernanza, supervisión y control humano durante todo el ciclo de vida de los sistemas (Voenekey, et al., 2022).

### b) Ámbito Laboral y Comercial

Hemos visto que esta revolución tecnológica impone la necesidad de modernizar las organizaciones para adaptarse a las necesidades actuales y futuras. Esto, a su vez, requiere contar con capital humano que pueda hacer frente a las tareas de la digitalización y la automatización e implica también que algu-

---

<sup>1</sup> Aunque existen un amplio número de directrices éticas relacionadas con la inteligencia artificial de ellas pueden destacarse: los Principios de la OCDE sobre la Inteligencia Artificial (OECD, 2019); y la Recomendación de la Unesco sobre la ética de la inteligencia artificial (UNESCO, 2021). Un análisis de otras directrices éticas puede consultarse en: Bedecarratz & Aravena (2023: 203-218); Contreras & Trigo (2021: 457- 477); Schmitt, (2022: 303-314). Asimismo, en la actualidad se encuentra en discusión la Propuesta de reglamento del parlamento europeo y del consejo, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial y se modifican determinados actos legislativos de la unión, conocido como la “Ley de inteligencia artificial” que se espera tengan alcances extraterritoriales similares al Reglamento Europeo de Protección de Datos Personales. Sobre esas y otras bases diversas legislaciones nacionales (incluida Chile) ya comienzan a discutir proyectos de ley de inteligencia artificial o reformas sectoriales sobre la base de dichos principios.

nos oficios, tareas o profesiones se transformarán e incluso, en menor medida, podrían desaparecer. Ello dependerá mucho de la forma en la que se gestionen tales desafíos.

Por ejemplo, en el informe de la OIT *“La Inteligencia Artificial Generativa y el empleo: Un análisis global de los posibles efectos sobre la cantidad y la calidad del empleo”* se concluyó que muchos empleos existentes en la actualidad están solo parcialmente expuestos a la automatización. Por se estima que es probable que esta tecnología sea un complemento para aumentar la productividad más que una herramienta que destruya o reemplace roles completamente. Sin embargo, en el mismo documento se advierten diferencias en los efectos que pueden generarse sobre países con distintos niveles de desarrollo. Estas diferencias se relacionan con las estructuras económicas actuales y las brechas tecnológicas existentes. Además, se apunta que los efectos potenciales también pueden diferir significativamente entre hombres y mujeres. Esto porque el trabajo administrativo es uno de los más expuestos y ha sido tradicionalmente una importante fuente de empleo para las mujeres a medida que los países se desarrollaban económicamente (países de renta alta y media), por eso se estima que uno de los impactos de la inteligencia artificial generativa podría ser que determinados trabajos administrativos nunca lleguen a surgir en los países de renta baja. No obstante, se concluye que, con políticas adecuadas, esta nueva ola de transformación tecnológica podría ofrecer importantes beneficios (Gmyrek, Berg & Bescond, 2023).

Así, desde esta perspectiva surge el desafío de preparar a los equipos y organizaciones para la transición que supone adaptarse a entornos cambiantes,

a las nuevas necesidades y tomar decisiones legislativas y de política pública en relación con el futuro de quienes hoy en día desempeñan tareas susceptibles de transformarse o desaparecer. Al mismo tiempo, existe la oportunidad de crear nuevas categorías de empleos y nuevas áreas de formación pensadas para esta nueva revolución. Por eso, debe invertirse en educación y formación en competencias digitales, siendo esencial la colaboración público-privada.

En ese sentido, la *Recomendación Sobre La Ética De La Inteligencia Artificial* adoptada en noviembre de 2021 por la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), contiene algunas propuestas para hacerle frente a este y otros desafíos. En el *Ámbito de Actuación N° 10*, dedicado a la *“Economía y el Trabajo”* se proporcionan cuatro ideas clave para garantizar una mejor transición en el ámbito laboral:

- **Evaluar impactos y necesidades:** es necesario evaluar y abordar el impacto de los sistemas de IA (y otras tecnologías -añadimos-) en los mercados de trabajo y sus consecuencias en las necesidades educativas, especialmente en los países cuya economía requiere mucha mano de obra. Además, es clave introducir una gama más amplia de competencias básicas e interdisciplinarias en todos los niveles educativos, para que las y los trabajadores actuales y las generaciones futuras tengan oportunidades de encontrar empleo en un mercado en constante y rápida evolución. Asimismo, de forma adicional a las competencias técnicas especializadas, deberían enseñarse otras como comunicación,



pensamiento crítico, trabajo en equipo, empatía y la capacidad de transferir los conocimientos propios a diversos ámbitos, entre otros. Para esto resulta fundamental actualizar los planes de estudios en torno a ellas (Recomendación de la Unesco, 2021, Ámbito de actuación 10, N° 116).

- **Capacitar y promover la colaboración público-privada:** muy vinculado con lo anterior, deben fomentarse los acuerdos de colaboración entre los gobiernos, las instituciones universitarias, las instituciones de enseñanza y formación profesional, la industria, las organizaciones de trabajadores y la sociedad civil a fin de reducir la brecha en cuanto a las competencias exigidas para adecuar los programas y estrategias de capacitación a las futuras implicaciones del trabajo y a las necesidades de la industria, incluidas las pequeñas y medianas empresas. En ese marco, debe promoverse un enfoque de enseñanza y aprendizaje basados en proyectos, facilitando las asociaciones de colaboración entre las instituciones públicas, las empresas del sector privado, las universidades y los centros de investigación” (Recomendación de la Unesco, 2021, Ámbito de actuación 10, N° 117).
- **Garantizar una transición equitativa:** promover la colaboración público-privada para garantizar una transición equitativa a los empleados en situación de riesgo. Esto puede hacerse a través de programas de perfeccionamiento y reconversión profesional, mecanismos para retener a los empleados durante

esos periodos de transición y programas de protección social para quienes no puedan reconvertirse. El Estado debe elaborar y aplicar medidas tales como: programas de perfeccionamiento y reconversión profesional, el fortalecimiento de la protección social, intervenciones sectoriales proactivas y la introducción de ventajas fiscales y nuevas formas de tributación. Esto último debe examinarse cuidadosamente, y, si cabe, serán necesarias reformas de los regímenes fiscales, para encontrar medidas que permitan financiar programas y contrarrestar las consecuencias del desempleo causado por la automatización (Recomendación de la Unesco, 2021, Ámbito de actuación 10, N° 118).

- **Alentar y apoyar la investigación interdisciplinaria:** apoyar investigaciones interdisciplinarias que analicen el impacto de los sistemas de IA en el entorno laboral local con miras a anticipar las tendencias y los desafíos futuros (Recomendación de la Unesco, 2021, Ámbito de actuación 10, N° 119).

En otro orden de ideas, el uso inadecuado de algoritmos de IA puede llegar a afectar los mercados y la competencia generando nuevas formas de daños directos a los consumidores y nuevas prácticas de exclusión de competidores. Esto es importante porque el abuso de la posición dominante, y los carteles por el uso de algoritmos, tienen el potencial de afectar particularmente a los consumidores y la Pyme. En el caso de los consumidores, tal y como se indicó antes, estos perjuicios pueden producirse, por ejemplo, por el uso de técnicas para la manipulación de sus deci-

siones, sin que éstos sean conscientes de ello (Sernac, 2022). Asimismo, en el caso de la Pyme existe evidencia de que con el uso de algoritmos se puede reducir la competencia; existiendo también riesgos de colusión si se generaliza el uso de algoritmos de fijación de precios más complejos (Ezrachi & Stucke, 2017; Gal, 2019 y CMA, 2021).

En ese sentido, en el mismo *Ámbito de Actuación 10 de la Recomendación de la UNESCO* se invita a los Estados a adoptar una quinta medida que consiste en:

- **Garantizar la competitividad de los mercados:** adoptando medidas adecuadas para prevenir la desigualdad y promover la protección de los consumidores, considerando posibles mecanismos en los planos nacional, regional e internacional, a fin de impedir los abusos de posición dominante en el mercado, incluidos los monopolios, en relación con los sistemas de IA durante su ciclo de vida, ya se trate de datos, investigación, tecnología o mercados (Recomendación de la Unesco, 2021, *Ámbito de actuación 10*, N° 119).

Las medidas contra el abuso de la posición dominante pueden contribuir también a alcanzar objetivos de desarrollo, al facilitar el acceso a los productos y servicios, y promover un mejor funcionamiento de las empresas.

### c) Propiedad intelectual e industrial

La propiedad intelectual es un régimen jurídico por el cual se protegen las creaciones de la mente

humana a través de la concesión o reconocimiento de diversos tipos de derechos. Existe también para establecer ciertos “equilibrios” entre los titulares de tales derechos, los consumidores, usuarios y la sociedad en general; y sirve como herramienta para promover la innovación y el desarrollo social, personal y humano (Schmitz, 2023: 157-183).

A pesar de que cuenta con diversos regímenes para proteger las creaciones humanas e incentivar la innovación (derecho de autor, marcas, patentes, secretos empresariales, entre otros), muchas Pymes desconocen su importancia y aún no saben de qué manera esta puede contribuir “a transformar sus ideas en productos y servicios, ni cómo puede constituir una poderosa herramienta para que no se limiten a sobrevivir, sino que también logren competir y crecer” (OMPI, 2021).

En ese sentido, la propiedad intelectual ofrece a las empresas la posibilidad de proteger sus activos intangibles para ser llevados al mercado haciéndolas más fuertes, competitivas y resilientes. Ella propicia, entre otras cosas, atraer inversión, captar clientes y encontrar financiamiento, así como asegurar ventajas competitivas, evitar o mitigar riesgos. Esto es importante hoy más que nunca en una economía basada en datos y conocimiento. Así que, un primer gran desafío en este ámbito es que las Pyme conozcan el valor e importancia de sus activos intangibles y de la propiedad intelectual como mecanismo para protegerlos.

Desde otro punto de vista, la relación entre la propiedad intelectual y la innovación puede verse reflejada también en el hecho de que muchas de las innovaciones que se han generado en los últimos años aprovechando las tecnologías centrales de la industria 4.0 (tales como robótica avanzada, el Internet de las

cosas (*IoT*); el Internet de los servicios (*IoS*); el Internet de los cuerpos (*IoB*), *blockchain*, entre otras) son protegidas por este sistema jurídico. Especialmente porque en un “mundo digital” buena parte de ellas necesita de intangibles (grandes cantidades de datos, algoritmos y software) para su diseño y funcionamiento. No obstante, los modelos relacionados con estas tecnologías plantean diversos problemas en los que entran en juego, por una parte, el acceso a los datos necesarios para innovar y, por otra parte, las crecientes exigencias de diseñar e implementar tecnologías responsables, confiables, sustentables, transparentes, explicables, que no discriminen y sean respetuosas de derechos fundamentales.

De ello deriva otro gran desafío y es que muchos regímenes de propiedad intelectual a nivel mundial se componen de normas creadas para otras economías y modelos de negocio que hoy deberían ser repensadas.

Por eso, en primer lugar, pueden plantearse algunas tensiones o colisiones con los derechos que se tienen para proteger algunos componentes de la tecnología (especialmente cuando dichas tecnologías son de alcances masivos) y los derechos de personas tales como consumidores y usuarios que las utilizan o son afectadas por su utilización.

Piénsese, por ejemplo, que algunos elementos esenciales para la innovación basada en datos (como los datos o los algoritmos en sí mismos; o los modelos de *machine learning* y *big data* que no tienen un régimen que los proteja “como un todo”) no cuentan con una fácil, completa, integral o eficiente fórmula de protección en este sistema, además, no siempre resulta fácil alcanzar éxito cuando se acude al sistema de registro. Esto incentiva que, por ejemplo, en

casos en los cuales no es posible el patentamiento (como puede ocurrir con los algoritmos y los datos individualmente considerados), muchos desarrolladores acudan a la protección de ellos por medio de secretos empresariales. En un mundo en el que los algoritmos se utilizan para la toma de decisiones automatizadas en áreas bastante sensibles, la transparencia es deseable en todas sus formas posibles y se convierte en un factor vital tanto para la justificación del sistema de propiedad intelectual como para el desarrollo del potencial que ofrecen las tecnologías de la industria 4.0 (Azuaje, 2023a y 2023b). De hecho, muchos de los principios pensados para hacer frente a los desafíos de la industria 4.0 impactan en el sistema de propiedad intelectual, pero todavía no han sido recogidos por las legislaciones sectoriales respectivas.

En segundo lugar, dentro del propio sistema de propiedad intelectual podrían existir barreras que impidan que algunos actores aprovechen sus beneficios. Por ejemplo, porque los procesos de registro se perciben como complejos, lentos y costosos (en el caso de las Pyme, especialmente en el área de las patentes) (Laitón & López, 2018: 173-175). Asimismo, si bien, como se ha dicho, la propiedad intelectual puede servir para impulsar la innovación, también puede condicionarla e incluso obstaculizarla. En ese sentido, al estar protegidos los elementos técnicos de las aplicaciones de *machine learning* y otras tecnologías vinculadas con su gran auge actual (como ciencia de datos y *big data*), las bases de datos que se requieren para seguir innovando podrían ser de difícil o imposible acceso para terceros (Azuaje & Finol, 2017; Azuaje, 2023c). De ahí que sean necesarias algunas medidas para fomentar el equilibrio y permitir la participación de más actores.

En ese sentido, a continuación, se ofrecen algunas medidas que pueden utilizarse tanto para promover el uso de estrategias de propiedad intelectual en la Pyme, como para fomentar la transparencia y el acceso a bases de datos para fomentar más desarrollos en el sector tecnológico<sup>2</sup>.

- **Capacitación sobre los diversos regímenes de propiedad intelectual.** Se ha dicho antes que muchas Pyme desconocen el valor de la propiedad intelectual para proteger sus activos intangibles de ahí que sean importantes las campañas de capacitación al respecto ya que esto contribuirá a fomentar el uso de estrategias de propiedad intelectual. En particular, es importante para el ecosistema digital promover el uso de marcas de certificación que den cuenta del cumplimiento de los estándares de ciertas tecnologías, así como promover y facilitar el registro de invenciones implementadas por computador y las relacionadas con la industria 4.0<sup>3</sup>.
- **Fomentar el registro público.** Deben crearse políticas que faciliten y fomenten el registro de propiedad intelectual. Esto contribuye,

por una parte, a generar valor para las Pyme, y, por otra parte, a que cierta información sobre el origen empresarial de tales tecnologías, productos y servicios esté públicamente disponible.

- **Promover el uso de herramientas de código abierto.** Es deseable la generación de estrategias para la ampliación de acceso a los programas informáticos y bases de datos de código abierto. Así como la elaboración de estrategias para su comprensión y promoción. Para esto es necesario fomentar la actividad empresarial en torno a los programas informáticos de código abierto a través de formación y programas de capacitación por medio de colaboraciones público-privadas (Azuaje, 2021).

Como se ve, estos desafíos exigen repensar la propiedad intelectual con una mirada integral, encaminada a configurar nuevas formas de gobernanza, que, por una parte, sigan cumpliendo su finalidad tradicional de proteger y fomentar la creación, el emprendimiento y la innovación, pero que, por otra parte, lo hagan con una mirada que también fomente tecnologías transparentes, responsables, sustentables y respetuosas de derechos considerando las nuevas tendencias regulatorias. Además, por las características de la IA y otras tecnologías de la industria 4.0 es deseable que estas nuevas formas de gobernanza y políticas de propiedad intelectual tengan no solo una mirada nacional, sino que también sean armonizadas teniendo en cuenta lo que está pasando en el resto del mundo.

<sup>2</sup> Estas medidas y otras recomendaciones pueden encontrarse ampliadas en el trabajo Azuaje (2023c: 1-34).

<sup>3</sup> En el caso de Chile el Instituto Nacional de Propiedad Industrial en Chile (INAPI) publicó en el año 2022 un "Manual de Patentamiento Invenciones Implementadas por Computador e Inteligencia Artificial" (INAPI, 2022), con el objeto de orientar de manera práctica cómo presentar una solicitud de patente para una invención de dichos tipos y, mediante el uso de ejemplos, entregar recomendaciones respecto de qué hacer y qué no hacer, para mejorar las probabilidades de obtener la protección deseada. Asimismo, en marzo de 2023, dio a conocer un programa para acelerar la tramitación de «patentes verdes» que busca, entre otras cosas, disminuir los tiempos para la obtención de esta protección para contribuir al desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas limpias en el país.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para facilitar la adopción de la Industria 4.0 en las Pymes, se proponen una serie de políticas públicas clave, analizadas con una mirada multidisciplinar. Esto es, desafíos de la gestión empresarial, desafíos económicos y desafíos regulatorios.

Desde el punto de vista empresarial, la Industria 4.0 representa una gran oportunidad para las empresas, ya permitirá aumentar el desempeño empresarial y su rentabilidad, innovar y desarrollar nuevos modelos de negocios. Sin embargo, en las PYMEs de economías latinoamericanas, se presentan importantes desafíos. Para que las empresas incorporen y desarrollen las nuevas tecnologías y sus aplicaciones, se requiere de su decisión estratégica para desarrollar y comprometer políticas, programas, recursos y personas. Además, las empresas requieren de un ecosistema que les permita implementar estas tecnologías. Se necesitan de proveedores de servicios y de las tecnologías, necesitarán personas capacitadas y centros de formación, investigación, desarrollo e innovación para crear y adaptar las tecnologías a las condiciones locales, acceso a recursos, entre otros.

Los impactos económicos presentados en este documento indicarían que, si Chile no emprende las reformas necesarias para la producción e incorporación de robots y otras tecnologías similares, se reemplazará y excluirán en forma sistemática trabajadores del mercado laboral. A nivel agregado, es posible que en la medida en que estas tecnologías se conviertan en pilares fundamentales del progreso tecnológico a nivel mundial, Chile corre el riesgo rezagarse en sus aspiraciones de alcanzar los niveles de desarrollo económico de los países desarrollados.

Desde la perspectiva regulatoria el aprovechamiento de estas tecnologías está rodeado de diversos desafíos que abarcan -como mínimo- áreas tales como la laboral, la comercial y la propiedad intelectual e industrial y esto es particularmente importante para las economías en desarrollo. Que podrían provocar que las economías desarrolladas estén aprovechando la mayoría de las oportunidades de esta revolución tecnológica, dejando atrás a las economías en desarrollo. Esto puede deberse a la existencia de barreras en las legislaciones y también a la falta de políticas públicas focalizadas. Urgen entonces medidas para impulsar y aprovechar las tecnologías que acompañan a la industria 4.0, pero gestionando los riesgos.

### 5.1 RECOMENDACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS

#### Acceso a Financiamiento

Las Pymes debieran contar con acceso a financiamiento asequible y programas de incentivos para invertir en tecnologías de la Industria 4.0. Esto puede incluir subsidios, préstamos preferenciales y/o créditos fiscales para la inversión en equipos y software.

#### Formación y Capacitación

La falta de habilidades técnicas es un obstáculo importante para la adopción de la Industria 4.0. Se deben establecer programas de formación y capacitación específicos para Pymes, enfocados en la automatización, la programación y la gestión de datos.

### Apoyo a la Investigación y Desarrollo

Promover la innovación es fundamental para el éxito a largo plazo de las Pymes. Las políticas públicas deben respaldar la investigación y el desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles y adaptadas a las necesidades de las Pymes.

### Infraestructura Digital

Es esencial que se mejore la infraestructura de telecomunicaciones y se promueva el acceso a Internet de alta velocidad en áreas rurales y urbanas, garantizando que todas las Pymes tengan la conectividad necesaria para aprovechar la Industria 4.0.

### Fomento de la Colaboración

La cooperación entre empresas, instituciones académicas y agencias gubernamentales es clave. Se pueden establecer programas con enfoque en la triple o cuádruple hélice y parques de innovación para fomentar la colaboración y compartir recursos.

### Simplificación Regulatoria

La regulación puede ser un obstáculo para la adopción de la tecnología. Se debe simplificar y armonizar el marco regulatorio para fomentar la inversión y la adopción de tecnologías 4.0. Además, de proteger a los actores.

### Difusión y Concienciación

Las Pymes deben estar informadas sobre los beneficios de la Industria 4.0 y cómo pueden aprovecharla. Campañas de difusión y concientización pueden resultar esenciales para garantizar la adopción.

## REFERENCIAS

- Acemoglu, Daron, and Pascual Restrepo. 2020. "Robots and Jobs: Evidence from U.S. Labor Markets." *Journal of Political Economy* 128(6): 2188–244.
- Acemoglu, Daron, and Pascual Restrepo. 2022. "Tasks, Automation, and the Rise in US Wage Inequality." *Econometrica* Forthcoming.
- Azuaje Pirela, Michelle (2023a). "La propiedad intelectual frente a los desafíos de la inteligencia artificial y otras tecnologías de vanguardia." Recuperado de: <https://estadodiario.com/al-aire/la-propiedad-intelectual-frente-a-los-desafios-de-la-inteligencia-artificial-y-otras-tecnologias-de-vanguardia/>
- Azuaje Pirela, Michelle (2023b). "Three Major Challenges for the Intellectual Property Agenda in the Face of Artificial Intelligence and Other Frontier Technologies (March 4, 2023)." Recuperado de: <https://ssrn.com/abstract=4378436>
- Azuaje Pirela, M. (2023c). Propiedad intelectual como herramienta para promover la transparencia y prevenir la discriminación algorítmica. *Revista Chilena De Derecho Y Tecnología*, 12, 1–34. <https://doi.org/10.5354/0719-2584.2023.7013>
- Azuaje Pirela, Michelle (2021). Mercado digital regional para la Alianza del Pacífico y Propiedad Intelectual. Recuperado de: <https://araucanianocticias.cl/2021/mercado-digital-regional-para-la-alianza-del-pacifico-y-propiedad-intelectual/1029207348>
- Azuaje Pirela, Michelle y Daniel Finol González (2017). «Big data, algoritmos y propiedad intelectual».

- Anuario de Propiedad Intelectual: 257-275.
- Bedecarratz Scholz, Francisco y Marcos Aravena Flores (2023). «Principios y directrices éticas sobre inteligencia artificial». En Michelle Azuaje Pirela (coordinadora), *Introducción a la ética y el derecho de la inteligencia artificial* (pp. 203-218). Madrid: La Ley.
- Benitez, G., Ayala, N., & Frank, A. (2020). Industry 4.0 innovation ecosystems: An evolutionary perspective on value cocreation. *International Journal of Production Economics*, 228, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735>.
- Berg, Andrew, Edward F. Buffie, and Luis-Felipe Zanna. 2018. "Should We Fear the Robot Revolution? (The Correct Answer Is Yes)." *Journal of Monetary Economics* 97: 117–48. 9
- Boisier, G., Hahn, K., Geldes, C., & Klerkx, L. (2021). Unpacking the Precision Technologies for Adaptation of the Chilean Dairy Sector. A Structural-functional Innovation System Analysis. *Journal of technology management & innovation*, 16(4), 56-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242021000400056>
- Burrell, J. (2016). How the machine 'thinks': Understanding opacity in machine learning algorithms. *Big Data & Society*, 3(1). <https://doi.org/10.1177/2053951715622512>
- Carbonero, Francesco, Ekkehard Ernst, and Enzo Weber. 2018. "Robots Worldwide: The Impact of Automation on Employment and Trade." VfS Annual Conference 2020 (Virtual Conference): Gender Economics 224602, Verein für Socialpolitik / German Economic Association. Cords, Dario, and Klaus Pretzner. 2018. "Technological Unemployment Revisited: Automation in a Search and Matching Framework." *Hohenheim Discussion Papers in Business, Economics and Social Sciences 19-2018*. University of Hohenheim.
- Castillo-Vergara, M. (2023). *Industria 4.0 en la Pyme: Management & Technology*. *Journal of technology management & innovation*, 18(2), 3-5.
- Castillo-Vergara, M., & García-Pérez-de-Lema, D. (2021). Product innovation and performance in SME's: the role of the creative process and risk taking. *Innovation*, 23(4), 470-488.
- Castillo-Vergara, M., Álvarez-Marín, A., Villavicencio Pinto, E., & Valdez-Juárez, L. E. (2022a). Technological Acceptance of Industry 4.0 by Students from Rural Areas. *Electronics*, 11(14), 2109.
- Castillo-Vergara, M., Álvarez-marín, Alejandro, Pezoa-fuentes, Claudia & carrasco-carvajal, Omar (2022b). The Creative Process And Innovation: The Role Of Knowledge Management And Industrial Cluster. *International Journal of Innovation Management*, 26(06), 2250044.
- Coeckelbergh, M. (2021): *Ética de la Inteligencia Artificial* (trad.). Lucas Álvarez Canga. Madrid: Cátedra.
- Competition & Markets Authority (2021). Algorithms: How they can reduce competition and harm consumers. Recuperado de: <https://www.gov.uk/government/publications/algorithms-how-they-can-reduce-competition-and-harm-consumers/algorithms-how-they-can-reduce-competition-and-harm-consumers#conclusions>

- Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2021). “Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial.” Recuperado de: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa)
- Contreras, Pablo y Trigo, Pablo (2021). La gobernanza de la inteligencia artificial. Esbozo de un mapa entre hard law y soft law internacional, en M. Azuaje Pirela y P. Contreras, *Inteligencia Artificial y Derecho. Desafíos y perspectivas* (pp. 457-477). Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Crawford, Kate. (2021). *Atlas of AI*. New Haven: Yale University Press.
- Dalenogare, L., Benitez, G., Ayala, N., & Frank, A. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.08.019>.
- Duman, M., & Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2021.120615>.
- Ezrachi, Ariel and Stucke, Maurice E., *Two Artificial Neural Networks Meet in an Online Hub and Change the Future (Of Competition, Market Dynamics and Society)* (July 1, 2017). Oxford Legal Studies Research Paper No. 24/2017, University of Tennessee Legal Studies Research Paper No. 323, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2949434> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2949434>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, 210, 15-26.
- Gal, Michal (2019). «Algorithms as illegal agreements». *Berkeley Technology Law Journal*, 34 (1): 67-118. DOI: 10.15779/Z38VM42X86.
- García, Carlos J. and Wildo D. González, 2023. “Robots: How bad could it be globally?” Universidad Alberto Hurtado.
- García, Carlos J., Wildo D. González, and Tiare T. Rivera 2020. “Robots at Work in Developing Countries: How Bad Could It Be?.” Universidad Alberto Hurtado.
- Geldes, C., Muñoz-Cisterna, V., & Castillo-Vergara, M. (2023). Innovación colaborativa, socios y proximidad geográfica en el sector de turismo en Chile. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 19(1), 2-12. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2023000100002>
- Gmyrek, P., Berg, J., Bescond, D. (2023). Generative AI and jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality, ILO Working Paper 96 (Geneva, ILO). <https://doi.org/10.54394/FHEM8239>
- Hanushek, Eric A. 2013. “Economic growth in developing countries: The role of human capital.” *Economics of education review* 327: 204-212.
- Heckman, James J., Jora Stixrud, and Sergio Urzua. 2006. “The effects of cognitive and noncognitive abilities on labor market outcomes and social behavior.” *Journal of Labor economics* 24.3: 411-482.
- Heredia, J., Castillo-Vergara, M., Geldes, C., Gamarra, F. M. C., Flores, A., & Heredia, W. (2022). How do digital capabilities affect firm performance? The mediating role of technological



- capabilities in the “new normal”. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(2), 100171. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100171>
- Instituto Nacional de Propiedad Industrial (2022). Manual de Patentamiento Inventiones Implementadas por Computador e Inteligencia Artificial. Recuperado de: [https://www.inapi.cl/docs/default-source/2022/patentes/tramites/recursos-para-usuarios/guias/manual-patentamiento-iic-ia-final.pdf?sfvrsn=2caddae8\\_2](https://www.inapi.cl/docs/default-source/2022/patentes/tramites/recursos-para-usuarios/guias/manual-patentamiento-iic-ia-final.pdf?sfvrsn=2caddae8_2)
- Kyrrarini, Maria, Fotios Lygerakis, Akilesh Rajavenkatarayanan, Christos Sevastopoulos, Harish Ram Nambiappan, Kodur Krishna Chaitanya, Ashwin 10 Ramesh Babu, Joanne Mathew, and Fillia Makedon. 2021. “A Survey of Robots in Health-care.” *Technologies*9, no. 1: 8.
- Laitón Ángel, S. Y., y López Lozano, J. (2018). Estado del arte sobre problemáticas financieras en pymes: estudio para América Latina. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (85), 163–179. <https://doi.org/10.21158/01208160.n85.2018.2056>
- Leduc, Sylvain, and Zheng Liu. 2020. “Robots or Workers? A Macro Analysis of Automation and Labor Markets.” Working Paper 2019-17. Federal Reserve Bank of San Francisco.
- Loh, Erwin. 2018. “Medicine and the rise of the robots: a qualitative review of recent advances of artificial intelligence in health.” *BMJ leader leader-2018*.
- Matsuyama, Kiminori. 2020. “Is Automation Labor-Displacing in the Developing Countries, Too? Robots, Polarization, and Jobs.” manuscript.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56, 1118 - 1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>.
- O’Neil, C. (2016): *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*. New York: Crown.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (2021). Día Mundial de la Propiedad Intelectual 2021 – “La PI y las pymes: para que las ideas lleguen al mercado”. Recuperado de: [https://www.wipo.int/pressroom/es/articles/2021/article\\_0004.html](https://www.wipo.int/pressroom/es/articles/2021/article_0004.html)
- Organization For Economic Cooperation and Development (OECD) (2019). «Recommendation of the Council on Artificial Intelligence». Recuperado de: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>
- Pasquale, F. (2015): *The Black Box Society: The Secret Algorithms That Control Money and Information*. London: Harvard University Press.
- Pérez, J. A. H., Geldes, C., Kunc, M. H., & Flores, A. (2019). New approach to the innovation process in emerging economies: The manufacturing sector case in Chile and Peru. *Technovation*, 79, 35-55. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.02.012>
- Pham, Q. C., Madhavan, R., Righetti, L., Smart, W., and Chatila, R. 2018. “The impact of robotics and automation on working conditions and employment.” *IEEE Robotics & Automation Magazine* 25(2): 126-128.
- Prettner, Klaus, and Holger Strulik. 2020. “Innovation, Automation, and Inequality: Policy Challenges in

- the Race against the Machine.” *Journal of Monetary Economics* 116: 249–65.
- Primi, A., & Toselli, M. (2020). A global perspective on industry 4.0 and development: new gaps or opportunities to leapfrog?. *Journal of Economic Policy Reform*, 23, 371 - 389. <https://doi.org/10.1080/17487870.2020.1727322>.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Jabbour, A., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>.
- Schmitt, L. (2022). Mapping global AI governance: a nascent regime in a fragmented landscape. *AI Ethics* 2, 303–314. <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00083-y>
- Schmitz Vaccaro, Christian (2023). «Ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento para un desarrollo humano y de país». En Michelle Azuaje Pirela (coordinadora), *Temas actuales de propiedad intelectual* (pp. 157-183). Madrid: La Ley
- Servicio Nacional del Consumidor “Sernac” (2022). Resolución Exenta N° 33 que aprueba Circular Interpretativa sobre protección de los consumidores frente al uso de sistemas de inteligencia artificial en las relaciones de consumo, Santiago, 18 de enero de 2022.
- Somohano-Rodríguez, F., Madrid-Guijarro, A., & López-Fernández, J. (2020). Does Industry 4.0 really matter for SME innovation?. *Journal of Small Business Management*, 60, 1001 - 1028. <https://doi.org/10.1080/00472778.2020.1780728>.
- Stentoft Jan, Kent Adsbøll Wickstrøm, Kristian Philipson & Anders Haug (2021) Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers, *Production Planning & Control*, 32:10, 811-828.
- Szász, L., Demeter, K., Rácz, B., & Losonci, D. (2020). Industry 4.0: a review and analysis of contingency and performance effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*. <https://doi.org/10.1108/jmtm-10-2019-0371>.
- Tilley, Jonathan. 2017. “Automation, Robotics, and the Factory of the Future.” <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future>.
- United Nations Conference on Trade and Development UNCTAD (2023). “Technology And Innovation Report 2023.” Recuperado de: <https://unctad.org/tir2023>
- Voeneky, S., Kellmeyer, P., Mueller, O., & Burgard, W. (Eds.). (2022). *The Cambridge Handbook of Responsible Artificial Intelligence: Interdisciplinary Perspectives* (Cambridge Law Handbooks). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009207898
- Yu, F., & Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs – A survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2020.05.001>.
- Zaror Miralles, Danielle (2023). «¿Por qué resulta tan problemático regular la tecnología?». En Michelle Azuaje Pirela (coordinadora), *Introducción a la ética y el derecho de la inteligencia artificial* (pp. 237-248). Madrid: La Ley.

---

El **Centro Interdisciplinar de Políticas Públicas (CiPP)** es un organismo creado por las Facultades de Ciencias Sociales, Derecho, y Economía y Negocios de la Universidad Alberto Hurtado (UAH). **Se vincula formalmente con la UAH a través de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado.**

De acuerdo a las políticas de la UAH, el **CiPP** es un **Centro de Pertinencia Pública y Relevancia Social**. Su objetivo principal es **contribuir a que la UAH sea un referente nacional y regional en investigación y producción académica de interés público.**

**CiPP** | Centro Interdisciplinar  
de Políticas Públicas  
Universidad Alberto Hurtado

[cipp.uahurtado.cl](http://cipp.uahurtado.cl)