

**Juan Bravo M.**  
**Agustín García**  
**Hans Schlechter**

[www.clapesuc.cl](http://www.clapesuc.cl)

# Automatización e Inteligencia Artificial: Desafíos del Mercado Laboral

*Documento de Trabajo N° 50*

# **Automatización e Inteligencia Artificial: Desafíos del Mercado Laboral**

Juan Bravo M.

Agustín García

Hans Schlechter\*

**Clapes UC**

**Santiago, Chile**

**Septiembre 2018**

---

\* Agradecemos los comentarios de Aldo Cipriano, profesor titular y director de Extensión de la Escuela de Ingeniería UC. Asimismo, agradecemos la colaboración de Pedro Dosque.

## Resumen

El documento de trabajo realiza un análisis económico del impacto de las nuevas tecnologías, como avances en inteligencia artificial y robótica avanzada, sobre los mercados laborales. Se realiza una descripción de las cuatro Revoluciones Industriales que han ocurrido a lo largo de la historia. Posteriormente, se analizan los impactos económicos de la automatización, entendida como el conjunto de tareas humanas que pueden ser realizadas mediante el uso de tecnologías para mejorar la productividad. La evidencia muestra que la irrupción de estos avances tiene impactos positivos en el crecimiento económico, sin embargo, los efectos en el mercado laboral son ambiguos, generando importantes cambios en la composición del empleo.

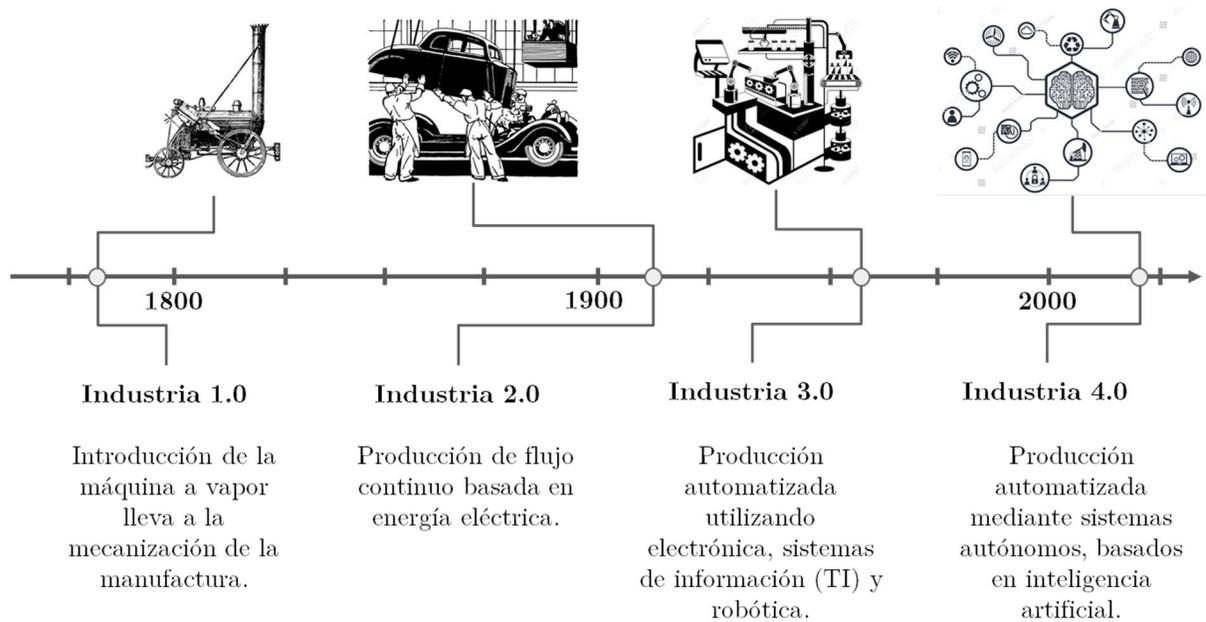
Se realiza un ejercicio con datos de utilización de robots industriales para verificar cambios en la participación del empleo manufacturero y la composición del empleo en este sector, concluyendo que el mayor uso de robots industriales ha reducido la participación del empleo manufacturero en el empleo total. Además, el aumento de la densidad robótica se asocia con una disminución de la participación de los empleos de mediana calificación en el empleo del sector manufacturero y con un alza de la participación del empleo de alta calificación en dicho sector, dando respaldo a la hipótesis de la polarización del empleo. Finalmente, se propone una serie de recomendaciones que permitan maximizar los beneficios de los avances tecnológicos y minimizar sus impactos negativos en determinados grupos.

# Índice

I. Introducción.....	1
II. El avance tecnológico a lo largo de la historia.....	4
II.1. Avance tecnológico de la Primera a la Tercera Revolución Industrial .....	4
II.2. La Cuarta Revolución Industrial.....	8
III. Impactos económicos de la automatización.....	12
III.1. Reestructuración de los mercados laborales.....	13
III.2. Susceptibilidad de los trabajos a la automatización.....	20
III.3. Cambio tecnológico sobre los salarios y la participación del trabajo en la renta nacional .....	27
IV. Recomendaciones de política .....	32
IV.1 Políticas prioritarias para abordar los desafíos de la automatización en los mercados laborales.....	33
IV.1.1 Educación, capacitación y formación continua.....	33
IV.1.2. Institucionalidad laboral.....	36
IV.2 Consideraciones sobre las políticas de impulso al progreso tecnológico .....	41
V. Conclusiones.....	43
Referencias.....	45

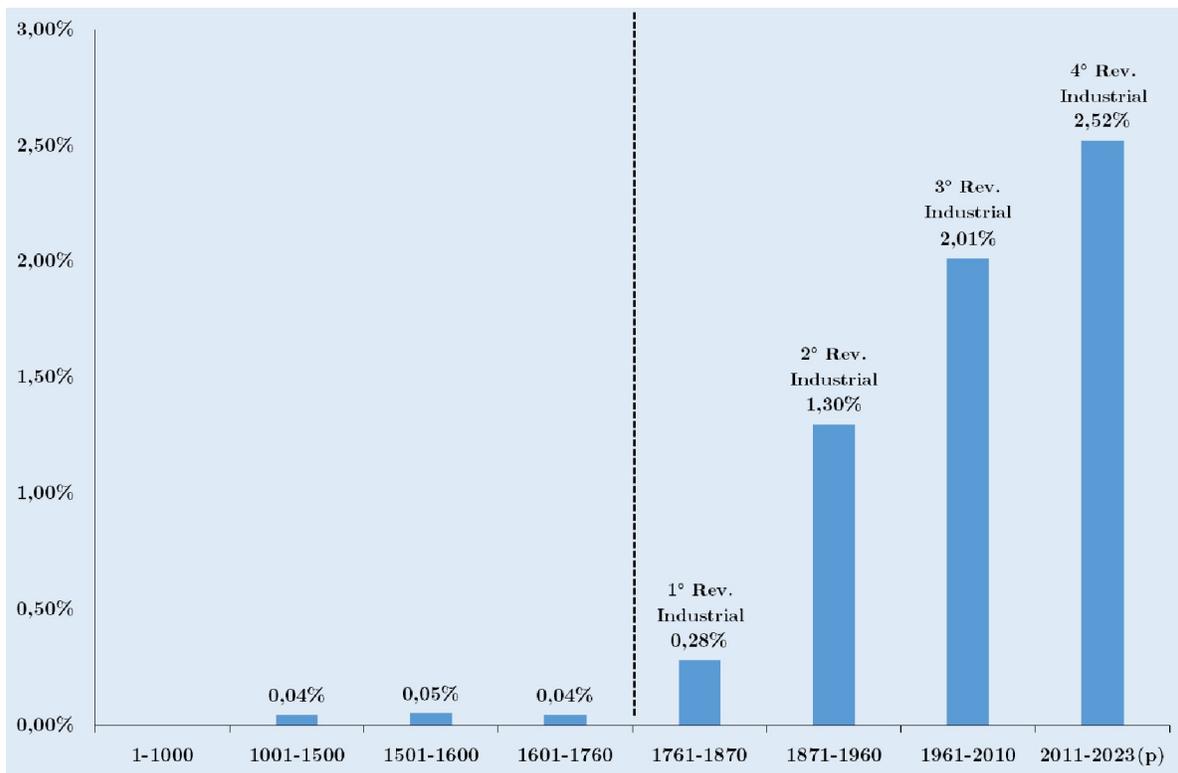
## I. Introducción

Durante los últimos tres siglos, el mundo ha sido testigo de cuatro Revoluciones Industriales, de las cuales han surgido importantes avances tecnológicos que han sentado las bases para el crecimiento económico actual. Los desarrollos acontecidos en ciencia y tecnología a partir de mediados del siglo XVIII, así como los últimos avances en tecnologías— como la inteligencia artificial, la digitalización y en tecnologías de la información—, han afectado profundamente a la mayoría de las industrias de la economía, así como a sus procesos productivos (ver Figura 1).



**Figura 1** – Línea de tiempo de las Revoluciones Industriales. *Fuente:* Elaboración propia.

La tecnología ha sido capaz de complementar a los trabajadores y permitir la simplificación de un conjunto relevante de tareas, aumentando la eficiencia en la producción de bienes y servicios, y por lo tanto, generando un sostenido crecimiento en productividad, que hasta épocas anteriores, había sido cercana a cero (ver Figura 2).



**Figura 2** – Crecimiento promedio anual del Producto Interno Bruto per cápita a nivel mundial.

*Fuente:* Elaboración propia, con base en datos de Angus Maddison, Historical Statistics, disponible en <http://www.ggd.net/maddison/> (años 1-2008); Fondo Monetario Internacional y División de Población de Naciones Unidas (años 2009-2023p).

Desde la mecanización de la industria textil en el siglo XVIII hasta el desarrollo de automóviles autónomos en los últimos años, nos hemos ido acercando gradualmente a una nueva época de desarrollo tecnológico, una cuarta revolución industrial como señala Marwala (2007), y así como las revoluciones tecnológicas precedentes, se espera que tenga un impacto relevante sobre los mercados laborales. La aparición de las hiladoras automáticas durante la Primera Revolución Industrial, permitió que los trabajadores textiles trabajaran con 16 o 18 husos a la vez, a diferencia del torno ordinario para hilar a mano que poseía un único huso<sup>2</sup>. La reducción de costos de producción permitió reducir los precios del producto final e impulsar aún más a una demanda que ya venía en aumento, lo que resultó en la necesidad de emplear a más tejedores e incrementos de sus salarios (Engels, 1845). . Durante la Segunda

<sup>2</sup> Un huso es comúnmente un trozo de madera largo y redondeado que sirve para hilar fibras textiles.

Revolución Industrial, la generación y difusión de la energía eléctrica dio lugar a un período prolongado de grandes cambios técnicos (Schurr et al. (1960), Rosenberg (1976), Devine (1983) y David (1990, 1991)). Uno de ellos fue la electrificación de las plantas industriales, lo que permitió la producción en masa, la reducción de los tiempos de producción, la disminución de los precios de bienes finales, y una mayor contratación de mano de obra. Luego, en décadas posteriores, vino una época dominada por los sistemas de control automático, las computadoras e internet, la cual se denominó como la Tercera Revolución Industrial. La adopción de tales dispositivos en ámbitos laborales, aumentó la demanda de trabajadores de alta calificación debido a que, tal como lo postula Bresnahan (1997), existe una complementariedad entre las computadoras y las personas con altas habilidades cognitivas y humanas. Actualmente, se espera que la Cuarta Revolución Industrial revolucione la economía, principalmente por los avances en distintas ramas de la inteligencia artificial, como la minería de datos (*Data Mining*), visión por computadoras (*Machine Vision*), o estadísticas computacionales, así como avances en robótica y en sistemas cyberfísicos. Tal como lo menciona Schwab (2016), la inteligencia artificial está presente en nuestra vida cotidiana, entre ellos encontramos vehículos que se conducen solos, drones, asistentes virtuales y hasta software de traducción. Por lo tanto, es probable que la cuarta revolución tenga un fuerte impacto en el mercado laboral, de tal manera que muchas de las ocupaciones y puestos de trabajo de hoy podrían tener transformaciones considerables, en las tareas, actividades y habilidades requeridas para realizarlos.

El documento se organiza en cinco secciones. En la sección II, subdividida en dos partes, se presenta la evolución de la tecnología a lo largo de su historia. En la primera parte, se revisan brevemente los inventos acontecidos durante las tres primeras revoluciones industriales que tuvieron lugar entre finales de siglo XVIII y durante todo el siglo XX. En la segunda parte, se realiza una revisión de los avances tecnológicos ocurridos en la época actual, considerada como la Cuarta Revolución Industrial. En la sección III, se realiza un

análisis estadístico a fin de conocer el impacto de las nuevas tecnologías sobre el empleo manufacturero en las economías desarrolladas. Cabe destacar que, el análisis se realiza sobre dicho tipo de empleo debido a que, como detallaremos más adelante, presenta una alta susceptibilidad a la automatización. En la sección IV, se esboza una serie de políticas enfocadas en Chile que permitan abordar los desafíos que presenta la automatización, de forma tal de maximizar su impacto positivo en la economía. Por último, en la sección V, se presentan las conclusiones.

## **II. El avance tecnológico a lo largo de la historia**

### **II.1. Avance tecnológico de la Primera a la Tercera Revolución Industrial**

Aunque suele haber disenso en torno a las fechas, la mayoría de los historiadores coincide en que la Primera Revolución Industrial se dio entre fines del siglo XVIII y principios del XIX y, según Ashton (1964), éste fue un período caracterizado por inventos basados en motores de combustión además del uso de nuevas y abundantes materias primas, que permitieron mecanizar un conjunto de actividades realizadas hasta ese momento por humanos.

Lo que marcó el éxito de esta revolución fue la invención de la máquina de vapor por James Watt en 1768, lo que permitió mecanizar la producción, dando origen a la producción en fábrica, desplazando así a los artesanos tradicionales. En este sistema, las tareas antes realizadas por los artesanos, se descompusieron en tareas más simples, repetitivas y que requerían menos habilidad, pero sí un mayor número de trabajadores, los cuales se desempeñan bajo supervisión y usando típicamente al carbón como fuente de energía<sup>3</sup>. Por ejemplo, en la industria textil se dio un gran salto de calidad y eficiencia en la producción

---

<sup>3</sup> Landes (1998)

gracias a la invención de hiladoras mecánicas<sup>4</sup>, como la *spinning-jenny*, la *water-frame* o la *spinning-mule*. La *spinning-jenny* permitía sostener más de un carrete de hilo o lana a la vez, permitiendo el hilado en tiempos más reducidos y a menores costos, en comparación con la rueca de hilar tradicional.

Asimismo, el motor a vapor dio paso a otro invento revolucionario: el ferrocarril (1825). Entre 1830 y 1850 se tendieron en Gran Bretaña alrededor de 6.000 millas de ferrocarril, lo que significó el empleo directo de unas 200.000 personas. De igual manera, la aparición del ferrocarril tuvo un impacto positivo en productividad en otras industrias tales como el hierro, cuya producción se duplicó en Gran Bretaña entre 1835 y 1845<sup>5</sup>.

A partir de 1870, en lo que se puede considerar como el inicio de la Segunda Revolución Industrial, los inventos habilitaron uno de los desarrollos más importantes de la época: la expansión de la electricidad como fuente de energía. Dicha expansión fue de tal magnitud, que ya en el 1900 el costo de una bombilla de luz incandescente era una quinta parte del costo existente veinte años atrás y el doble de eficiente<sup>6</sup>. Una de las consecuencias más relevantes de la Segunda Revolución es el cambio en las tecnologías de producción, en donde algunas industrias—en particular la manufacturera—adoptaron la producción en flujo continuo, lo que permitió grandes economías de escala, reduciendo los costos y aumentando significativamente la producción de bienes de consumo. El ejemplo más reconocido de producción en masa es el de Ford Motors, la cual permitió la fabricación del automóvil *T-Ford* a un precio lo suficientemente bajo como para ser adquirido por la familia promedio norteamericana. La línea de ensamblaje de Ford estaba diseñada para ser operada por trabajadores no calificados, permitiendo un gran aumento en la eficiencia de la producción. El tiempo que le tomaba a cada trabajador ensamblar los componentes de los motores se redujo de 20 minutos a 13, mientras que el tiempo de ensamblado de los chasis pasó de 12

---

<sup>4</sup> Hobsbawm (1982)

<sup>5</sup> Hobsbawm (1982)

<sup>6</sup> Mokyr (1998)

horas y 28 minutos a sólo una hora y 33 minutos (Bright, 1958). Otros ejemplos son la compañía Standard Oil Trust de Rockefeller, que redujo el costo unitario del kerosene desde 2,5 dólares en 1880 a 0,45 dólares en 1885, o las firmas alemanas Bayer, BASF y Hoechst que redujeron el kilo de la alzarina (ingrediente de tinturas) desde 200 marcos el kilo a comienzos de 1870 a sólo 23 marcos en 1878 y 9 en 1886 (Chandler, 1992).

A partir de la década de 1960, se inició una Tercera Revolución Industrial, conocida como la “Revolución digital” (Schwab, 2016), en la cual ocurrió el cambio desde las tecnologías analógicas a las digitales. Esta revolución fue catalizada por el desarrollo de los transistores en 1947, permitiendo la fabricación de equipos digitales más avanzados, como los servidores tipo *mainframe* en la década de 1960, la computación personal en 1970 y 1980, o lo teléfonos móviles durante el 1990<sup>7</sup>.

Uno de los desarrollos claves de la época consiste en los controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés, *Programmable Logic Controller*) en la década del 70, permitiendo el control automático de una serie de procesos industriales, por ejemplo, en los procesos de manufactura se reflejó como líneas de ensamblaje basadas en dispositivos robóticos. En los sectores industriales, el uso de las tecnologías de información, de los computadores y de los sistemas de control automático permitió aumentar la eficiencia de los procesos productivos, sin embargo, estas permitían sustituir un mayor conjunto de actividades que solían ser realizadas por humanos. Por ejemplo, los robots en la industria automovilística fueron desarrollados con la capacidad ensamblar y soldar; manipular materiales y moldear formas complejas en el mecanizado de metales en la industria metalúrgica; o paletizar, recoger y apilar en las cadenas de abastecimiento, realizando todo esto con una mayor velocidad y eficiencia que sus contrapartes humanas<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Si bien los orígenes de internet se remontan a los años 1960, su difusión comenzó en los 90 en las economías desarrolladas y a comienzos de 2000 en las emergentes. Ver, por ejemplo, Kiiski y Pohjola (2002) e *Internet World Stats*.

<sup>8</sup> Frey, Osborne, y Holmes (2016)

Greenwood (1999) señala que, en el período postguerra, el precio de una computadora nueva cayó a una tasa anual promedio de 19%. Así, una computadora que costaba 5 mil dólares en 1987, en 1955 habría costado 2 millones de dólares. Aunque la difusión de dicho dispositivo comenzó durante la década de 1950, este se usaba principalmente en investigaciones académicas e industriales para hacer cálculos que eran difícil realizar de otra manera (Jonscher, 1994). Luego, entre 1950 y 1980, el costo del millón de instrucciones por segundo decayó entre 27% y 50%, lo que impulsó el uso de computadoras como dispositivos de cálculo. Durante los años 1960, se convirtieron en unidades usadas por las compañías para almacenar, organizar, procesar y recuperar grandes volúmenes de datos, ahorrando así todo el trabajo que involucraban las actividades de procesamiento de información.<sup>9</sup>

El desarrollo de los sistemas computacionales impulsó la invención de tecnología de conexión de ordenadores, en particular, lo que en un momento se conoció como tecnología de conmutación de paquetes. Dicha tecnología, que comenzó a gestarse en la década del 60, sentó las bases para el nacimiento de internet<sup>10</sup>. Luego, a partir de los 70, las computadoras se transformaron en mecanismos de comunicación gracias al advenimiento de las redes y el acceso remoto. Finalmente, en los años 80, los computadores personales tuvieron una mayor penetración en los países desarrollados, al utilizarse en los hogares, las escuelas, negocios y en la industria. Por ejemplo, en Estados Unidos, en 1989 el 15,3% de los hogares poseían un computador personal, casi duplicándose desde 1984, donde sólo el 8,2% poseía uno<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Greenwood (1999)

<sup>10</sup> Kim (2005)

<sup>11</sup> U.S. Bureau of the Census (1991). Computer Use in the United States, Current Population Reports, Series P-23, No. 171, U.S. Government Printing Office. Washington, DC.

## II.2. La Cuarta Revolución Industrial

Hace algunos años atrás, en la feria industrial de Hannover de 2011, comenzó a debatirse sobre la “Industria 4.0” para hacer referencia a una producción industrial en la que productos y máquinas están interconectados entre sí digitalmente<sup>12</sup>. Según Schwab (2016), hoy estamos en los albores de una Cuarta Revolución Industrial, que comenzó a principios de este siglo y se caracteriza por un internet más ubicuo y móvil, sensores más pequeños, potentes y cada vez más baratos, así como también por la inteligencia artificial y el aprendizaje automático (también conocido como *Machine Learning*).

La Cuarta Revolución Industrial está caracterizada por una serie de tecnologías que entrelazan el mundo físico con el digital. La robótica, la inteligencia artificial, el *blockchain*, la nanotecnología, computación cuántica, la Internet de las Cosas (IoT, por su sigla en inglés, *Internet of Things*), impresión 3D o vehículos autónomos son tecnologías que están mostrando acelerados avances debido a mejores y más completas fuentes de información, así como mayores capacidades de procesamiento.

Según Brynjolfsson y McAfee (2014), vivimos en una época de progreso asombroso con tecnologías digitales que poseen hardware de computación, software y redes; mientras que Katz y Koutroumpis (2013) define esta nueva época como a la transformación del entorno tecno-económico y las operaciones socio-institucionales a través de comunicaciones y aplicaciones digitales. Algunas de estas tecnologías, como lo es la robótica asistida por inteligencia artificial, la nanotecnología o alguna de las tecnologías que se ven en la Figura 3, de entre varias más, están cambiando la forma en que interactuamos con nuestro entorno y, de la misma forma, cómo estructuramos nuestra economía. Por ejemplo, en 2014, científicos de Penn State University utilizaron nanomotores en tejido humano por primera vez, las cuales podrían tener implicancias en el tratamiento del cáncer y otras enfermedades

---

<sup>12</sup> Industria 4.0 en la Feria de Hannover: La senda hacia la “fábrica inteligente” pasa por la Feria de Hannover, sitio digital 'Deutschland', 7 de abril de 2014.

al poder manipular mecánicamente las células desde su interior<sup>13</sup>. Tecnologías como ésta no sólo podrían representar mejoras en la calidad de vida de las personas, sino también impulsar un nuevas industrias que hoy no existen—por ejemplo, la producción de bienes a escalas nanométricas. Consideremos el caso de la impresión 3D, en la cual se pueden fabricar productos personalizados para el consumidor—como en el sector de salud, donde pueden ser impresas prótesis basadas en modelos tridimensionales de los huesos del paciente—, lo cual amplía la gama de bienes que puede ofrecer la industria a los consumidores. Otro es el caso de los chips RFID (identificación de radio frecuencia, o *radio-frequency identification*, por su nombre en inglés), los cuales permiten la identificación de objetos a distancia, similar a los códigos de barra, pero en donde no se requiere tener el objeto a la vista, tiene capacidad de identificación en un amplio rango y permiten el seguimiento de personas, objetos o equipamiento en tiempo real, lo cual permite mejoras de eficiencia en industrias como la de transporte y logística, o en retail. Las tecnologías digitales, como la Internet de las Cosas o la computación en la nube (entendido como el uso de sistemas computacionales externos, provistos a través de internet, como Azure o Amazon Web Services), permiten el desarrollo de la fábrica digital, donde a través de sensores conectados a internet, se dota a los equipos de la capacidad ser monitoreados y operados de forma remota, sin necesidad de operarios físicos en las plantas de producción; asimismo, se pueden monitorear los flujos de producción, administrar remotamente los inventarios, o controlar la calidad de bienes producidos de manera rápida, eficiente y en tiempo real.

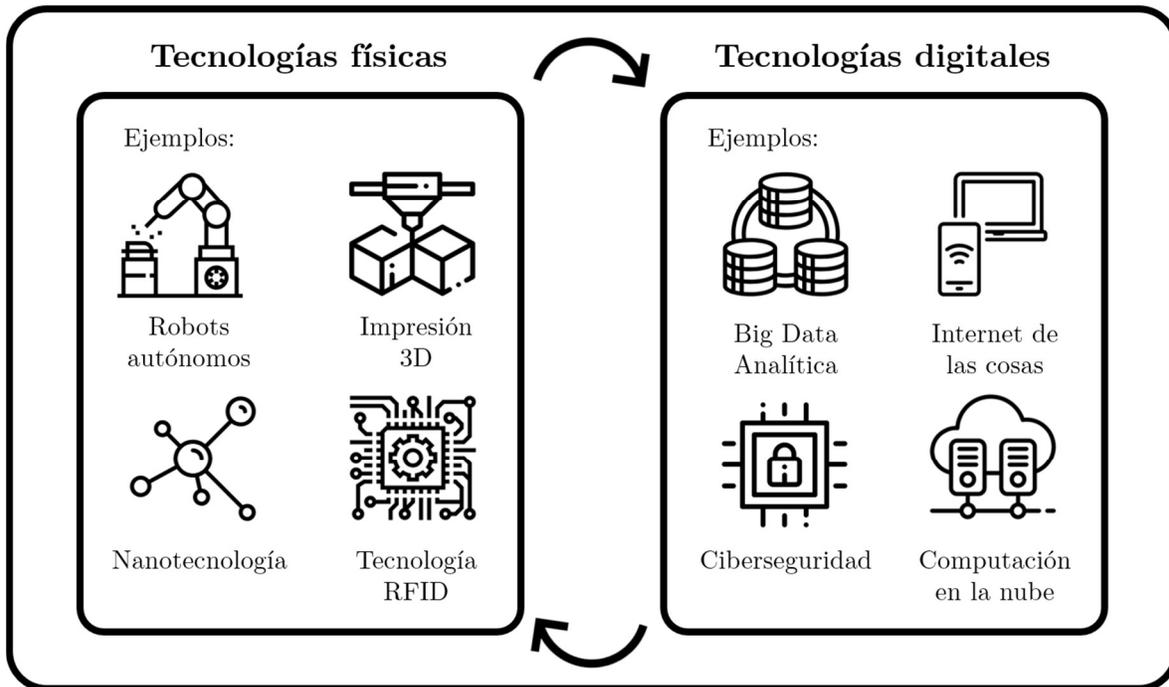
Los avances tecnológicos pueden tener un impacto en todas las industrias y disciplinas; ya sea de forma positiva, por ejemplo, mejorando la eficiencia de las organizaciones y del manejo de los recursos naturales; o negativa, como el caso en que las organizaciones no sean capaces de adaptarse a los cambios, o que los gobiernos fallen al

---

<sup>13</sup> “Nanomotors Used In Living Human Tissue For First Time”, disponible en:  
[https://www.huffingtonpost.co.uk/2014/02/17/nanomotors-used-in-living-human-tissue-for-first-time-\\_n\\_4801652.html?guccounter=1](https://www.huffingtonpost.co.uk/2014/02/17/nanomotors-used-in-living-human-tissue-for-first-time-_n_4801652.html?guccounter=1)

regular estas tecnologías de manera apropiada. Al impulsar nuevas tecnologías y procesos productivos más eficientes, los impactos en algunas variables económicas serán inequívocos, como por ejemplo, se debería observar un efecto positivo en el crecimiento económico, dado el aumento en productividad; mientras que el impacto puede ser ambiguo en otros casos. Uno de estos casos es el impacto en los mercados laborales, el cual dependerá de las condiciones tanto sociales, legales y económicas de los países en que se adopte. Particularmente, en comparación con los humanos, los algoritmos de inteligencia artificial tienen una gran ventaja cuando se toma en cuenta la escalabilidad de éstos. La computación ha demostrado ser más eficiente en el desarrollo de tareas repetitivas y que asimismo, con una mayor disponibilidad de datos, los computadores están mejor capacitados para detectar patrones en los datos que no son intuitivos para los humanos. En un estudio experimental realizado por la firma de desarrollo *LawGeex*, desarrolladores de un algoritmo de inteligencia artificial para la revisión de contratos legales, se enfrentaron veinte abogados estadounidenses experimentados en contra del algoritmo para revisar cinco acuerdos de confidencialidad. Al compararlos, el algoritmo tuvo una precisión del 94%, mientras que los abogados tuvieron un 85% en promedio; también, el algoritmo fue capaz de revisar los cinco contratos en 26 segundos, comparado con los 92 minutos que tardaron los abogados en promedio.

## Automatización



**Figura 3** – Tecnologías asociadas a los procesos de automatización en el marco de la Cuarta Revolución Industrial. *Fuente:* Elaboración propia, ilustraciones de <http://www.flaticon.com>.

Uno de los principales insumos que ha permitido la expansión de todas estas tecnologías es la creciente disponibilidad de bases de datos complejas y de gran tamaño (conocido como *Big Data*), las que suelen ser no rivales y de bajo costo (Brynjolfsson y McAfee, 2014). Esta disponibilidad de datos permite a los algoritmos generalizar, en breves períodos de tiempo, aquellas contingencias a las que podrían estar expuestos, en la misma forma en que un ser humano aprende a través de la práctica y la experiencia. Por ejemplo, existiendo una gran disponibilidad de textos traducidos de un idioma a otro, los algoritmos como *Google Translate* son capaces de mejorar de forma continua las traducciones que realizan, sin la necesidad de un programador humano que les defina como actuar. Aquí cobra importancia la tecnología de *Machine Learning*, como sub-rama de la inteligencia artificial, la que es definida por Cockburn *et al.* (2018) como la “invención de un método de invención”.

Su aplicación se puede entender como la habilidad de un algoritmo para, mediante técnicas estadísticas, refinar automáticamente sus métodos y resultados en la medida que obtiene más datos, sin necesidad de ser programado explícitamente. Por ende, los dispositivos tecnológicos que cuenten con esta característica, pueden aprender del rastro que dejan nuestros datos en el mundo digital y adquirir así un comportamiento automatizado en base a ellos (Brynjolfsson y McAfee, 2014).

Por lo tanto, es preciso prestar atención a la disrupción que puede sufrir el mercado laboral dentro del marco de esta inminente Revolución Industrial, ya que los avances en robótica e inteligencia artificial se encontrarían en posición de sustituir el trabajo humano no sólo en lo rutinario y predecible, sino también en lo no rutinario.

### **III. Impactos económicos de la automatización**

En esta sección, se realiza una revisión de la literatura económica existente relacionada al cambio tecnológico y sus efectos en los mercados laborales, entendiendo el concepto de automatización como al conjunto de tareas humanas que pueden ser realizadas mediante el uso de tecnologías. La automatización durante la Tercera Revolución Industrial está asociada a procesos que pueden ser definidos explícitamente mediante los humanos, como el ensamblado de circuitos eléctricos o la soldadura de piezas automotrices. Sin embargo, para esta nueva Revolución, el concepto se expande a tecnologías capaces de monitorear su entorno y retroalimentarse de él, teniendo la capacidad de tomar decisiones de forma autónoma. Por lo tanto, a lo largo de este documento se debe entender el concepto de automatización como automatización asistida por inteligencia artificial (*Artificial Intelligence-Driven Automation*).

Según plantean Acemoglu y Restrepo (2018), frente a un escenario de este tipo de tecnologías, existirá una sustitución de trabajo por capital, la cual puede causar impactos negativos en el mercado laboral al generar un aumento de la tasa de desempleo, desplazar a

trabajadores a ocupaciones de menor calificación, o aumentando las brechas de desigualdad, a menos que pueda ser contrarrestada por algún otro efecto económico—por ejemplo, incrementos en demanda de bienes y servicios, impulsado por un efecto de riqueza, que generan nuevos puestos de trabajo y la creación de empleos que no existían, complementarios a las nuevas tecnologías.

### **III.1. Reestructuración de los mercados laborales**

La automatización, si bien puede crear nuevos puestos de trabajo a nivel agregado, puede afectar profundamente la composición del empleo. Desde la década de los setenta, se ha observado una fuerte disminución en la demanda relativa por trabajadores de menores habilidades (Goldin y Katz, 1998; Katz y Autor, 1999), tanto en Estados Unidos como en otros países de la OECD. La evidencia también muestra que los trabajadores de alta calificación buscaban seguir mejorando sus habilidades y estudios, aun existiendo un premio salarial por alta calificación, lo cual ha profundizado aún más la brecha salarial entre trabajadores calificados y no calificados. Todo esto en un período de rápidos avances e inversión en computación, asociada también a una disminución progresiva del precio de capital tecnológico (Berman, Bound, Griliches, 1994; DiNardo y Pischke, 1997; Autor, Katz, Kruger, 1998). La hipótesis de que el progreso tecnológico ha aumentado la demanda por trabajadores calificados, por sobre aquellos no calificados (considerados como los trabajadores de mediana y baja calificación), se conoce como “cambio tecnológico sesgado a favor de las calificaciones” (o conocido también en inglés como *Skill-Biased Technological Change*, SBTC).

Sin embargo, esta hipótesis no ha sido capaz de explicar por sí sola un fenómeno que se denominó como polarización del empleo (Goos y Manning, 2003). Mientras que a principio de la década de los 80, los trabajos asociados a alta calificación—gerentes, profesionales y técnicos—continuaban creciendo de manera acelerada, cambios en las otras categorías

ocupacionales tuvieron un menor crecimiento. Especialmente perjudicadas resultaron aquellas ocupaciones de trabajo manual calificado, administrativas y de ventas, las cuales presentaron una fuerte disminución. Los trabajadores en estas ocupaciones de medianas calificaciones comenzaron a emplearse en trabajos de menores calificaciones. Por otro lado, dado que los trabajos de baja calificación presentan características tales que la automatización tiene menores efectos en ellos—como un bajo nivel de procesamiento de información—, dichos trabajos no son fácilmente automatizables. Precisamente, la polarización del empleo implicaría un alto crecimiento de trabajos de calificaciones altas, así como también de trabajos de baja calificación, ambos en desmedro de trabajos de mediana calificación. Este fenómeno ha sido documentado extensamente no sólo en Estados Unidos (Autor, Katz y Kearney, 2006, 2008; Autor y Dorn, 2013), sino también en Reino Unido (Goos y Manning, 2007), Alemania (Spitz-Oener, 2006), así como en un gran número de países europeos (Goos, Manning y Salomons, 2009, 2014; Michaels, Natraj y Van Rens, 2014).

Autor, Levy y Murnane (2003) presentan un modelo basado en tareas para explicar la polarización del empleo. A diferencia de la hipótesis de SBTC, los autores proponen que las nuevas tecnologías sustituyen aquellas tareas rutinarias que pueden ser definidas explícitamente como un conjunto de reglas y que puedan ser ejecutadas de manera sistemática por un computador. Dado que los computadores podrían ejecutar estas tareas de manera más eficiente que un humano—por ejemplo, cálculos matemáticos complejos; guardar, clasificar y recuperar información; o ejecutar tareas mecánicas en ambientes controlados—el uso de este tipo de capital disminuye la demanda por trabajo para tareas rutinarias (ya sean manuales o cognitivas), mientras que complementa aquellas tareas no rutinarias, favoreciendo la demanda de trabajadores en este tipo de tareas. En efecto, dado que las tareas en empleos de mediana calificación corresponden a procesos precisos y secuencialmente definidos, pueden ser fácilmente codificables por algoritmos computacionales

y ser llevados a cabo por máquinas, lo cual explicaría la disminución en los empleos de este grupo ocupacional. Sin embargo, existen muchas tareas que involucran un entendimiento tácito de cómo ser llevada a cabo y que son ejecutadas de manera sencilla, pero para las cuales no es posible definirlo como un conjunto de reglas precisas. Siguiendo esto, aquellas tareas más complejas de automatizar no son necesariamente las que exigen un alto nivel de razonamiento, sino más bien aquellas que demandan flexibilidad y capacidad motriz, juicio o sentido común. A medida que los trabajos involucren en mayor grado este tipo de actividades, menor es la sustitución de dicha fuerza laboral por computadores. En este caso, los trabajos con altas calificaciones están asociados a tareas que requieren capacidades para la resolución de problemas, intuición, creatividad y persuasión, mientras que los menos calificados necesitan adaptabilidad a las situaciones, reconocimiento visual y de lenguaje, así como interacciones personales. Esto haría que la tecnología afectase en mayor medida a los trabajadores que realicen tareas rutinarias—ya sean manuales o cognitivas—, que a los que realicen tareas no rutinarias, lo cual se conoce como el “cambio tecnológico sesgado en contra de la rutina” (o en inglés, *Routine-Biased Technological Change*, RBTC).

En los países desarrollados y algunos emergentes ha aumentado en forma considerable el uso de robots industriales a medida que avanza el proceso de automatización de la producción. Para ilustrar algunos de los efectos de la robótica en el mercado laboral, se analiza lo que ha sucedido en la industria manufacturera con la introducción de la robótica en el último periodo, utilizando las cifras disponibles de robots industriales<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Para efectos de este ejercicio, se utilizará la definición de robot industrial adoptada por la Federación Internacional de Robótica, y establecida en la norma ISO 8373 que define un robot industrial como “un manipulador multifuncional, programable en tres o más ejes, controlado automáticamente y reprogramable, que puede estar fijo o móvil para uso en aplicaciones de automatización industrial”. Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>.

**Tabla 1**

*Cambios en la densidad robótica y en variables laborales seleccionadas entre 2004 y 2016*

	Cambio en la densidad robótica <sup>1</sup>	Cambio en la participación del empleo manufacturero en el empleo total (%)	Cambio en la participación en el empleo manufacturero <sup>2</sup> (%)		
			Baja calificación	Mediana calificación	Alta calificación
Corea	487	-1,9	-2,0	3,3	-1,3
Dinamarca	153	-4,1	-0,6	-9,5	9,0
Alemania	147	-3,9	-0,6	-2,7	4,4
Estados Unidos	120	-1,9	0,6	-3,2	2,6
Suecia	116	-5,7	-0,8	-12,4	13,3
República Checa	89	0,6	4,2	-3,5	-0,7
Austria	83	-2,4	-7,3	1,4	5,9
España	79	-4,4	0,2	-2,3	2,1
Italia	62	-3,6	1,0	-4,6	3,6
Francia	54	-4,2	0,6	-10,0	9,4
Hungría	54	-1,3	-0,3	1,6	-1,2
Finlandia	52	-5,3	-1,5	-5,1	6,3
Portugal	42	-2,6	-2,1	-7,4	9,7
Australia	41	-2,7	0,6	-6,1	5,4
Reino Unido	32	-4,0	-0,9	-3,3	4,2
Polonia	29	-0,1	-1,6	-4,4	5,7
Noruega	25	-3,3	-0,3	-11,7	11,9
Japón	-26	-2,0	0,6	-0,2	-0,6
<b>Promedio</b>	<b>91,1</b>	<b>-2,9</b>	<b>-0,6</b>	<b>-4,5</b>	<b>5,0</b>

<sup>1</sup> Densidad robótica corresponde a la cantidad de robots industriales por cada 10.000 trabajadores en el sector manufacturero.

<sup>2</sup> Año inicial 2004, o posterior más cercano disponible.

*Fuente:* Elaboración propia, con datos de International Federation of Robotics y OIT.

La Tabla 1 muestra el cambio en la densidad de robots industriales entre el periodo 2004 a 2016 para aquellos países en donde existe información disponible. Se presenta, para el mismo periodo, el cambio en la participación del empleo manufacturero en el empleo total, así como el cambio en la participación del empleo de baja, mediana y alta calificación en dicho sector, dado el cambio en la densidad robótica de cada país de la muestra (la densidad de robots industriales se mide como el número de robots industriales por cada 10.000

ocupados en la industria manufacturera)<sup>15</sup>. Como se observa en la Tabla 1, el aumento de la densidad robótica ha ido aparejada con una caída de la participación del empleo manufacturero en el empleo total. A su vez, en promedio, ha habido un cambio de composición en el empleo en el sector manufacturero: una caída leve (0,6%) en la participación del empleo de baja calificación, una disminución de 4,5% en la porción del empleo de mediana calificación y un incremento de 5% en el empleo de alta calificación. En consecuencia, el resultado fundamental ha sido un aumento de la importancia de los empleos de alta calificación en el sector manufacturero en desmedro de los de mediana.

**Tabla 2**

*Coefficiente de correlación entre el cambio en la densidad robótica y variables laborales seleccionadas, durante el período 2004-2016*

	Cambio en la participación del empleo manufacturero en el empleo total (%)	Cambio en la participación del empleo manufacturero <sup>2</sup> (%)		
		Baja calificación	Mediana calificación	Alta calificación
Cambio en la densidad robótica <sup>1</sup>	-0,24	-0,01	-0,16	0,17

<sup>1</sup> Densidad robótica corresponde a la cantidad de robots industriales por cada 10.000 trabajadores en el sector manufacturero.

<sup>2</sup> Año inicial 2004, o posterior más cercano disponible.

Nota: cálculo excluye Corea por tratarse de observación outlier.

*Fuente:* Elaboración propia, con datos de International Federation of Robotics y OIT.

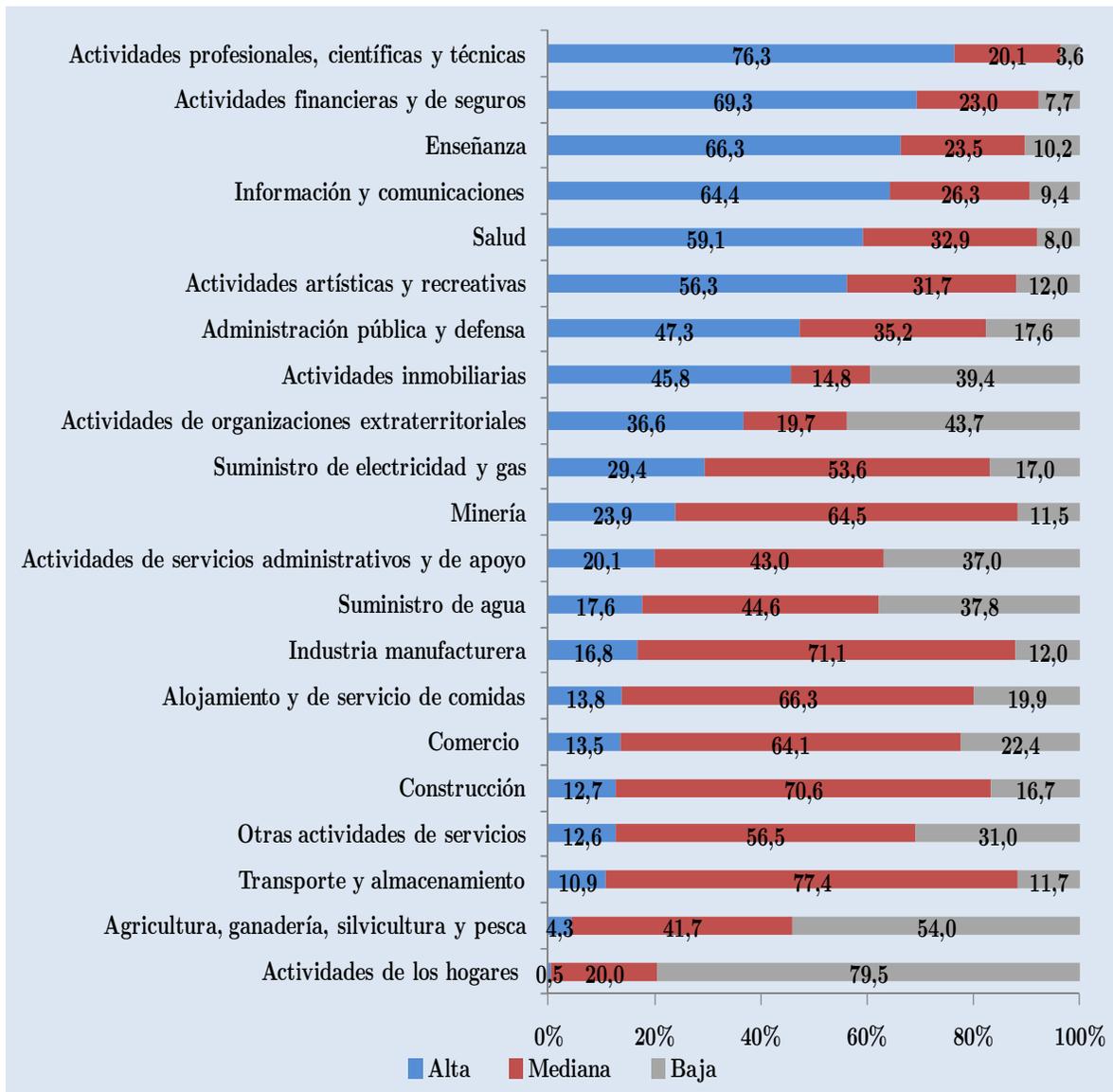
Para complementar el análisis, y presentado en la Tabla 2, se calcula el coeficiente de correlación entre el cambio en la densidad robótica durante el período 2004-2016 y el cambio en la participación del empleo manufacturero en el empleo total, así como también en los cambios en la participación del empleo de alta, mediana y baja calificación en el empleo.

<sup>15</sup> Ver <https://ifr.org/>

Es importante notar que las cifras de la Tabla 2 corresponden a correlaciones, sin controlar por otras variables y, por lo tanto, no implica causalidad. Sin embargo, nos señala que el incremento de la densidad robótica se asocia con una caída del peso del empleo manufacturero en el empleo total, así como con la participación de los empleos de mediana y baja calificación en el empleo del sector manufacturero. Por el contrario, el aumento de la densidad robótica se asocia con un alza de la participación del empleo de alta calificación en el sector manufacturero.

Este ejercicio sirve para comprender los impactos que han ocurrido en los mercados laborales de economías en donde procesos como la robótica han penetrado antes y con mayor fuerza que en nuestro país, aun considerando que los datos considerados se enmarcan en el concepto de robótica de la Tercera Revolución. Sin embargo, este fenómeno otorga luces sobre los efectos que podrían observarse en el futuro y así extraer lecciones para las políticas públicas.

En el caso chileno, el panorama es bastante diverso dependiendo de la rama de actividad económica. Así, por ejemplo, Transporte y Almacenamiento, Industria Manufacturera, y Construcción, tienen una participación del empleo de mediana calificación superior al 70% (Figura 4), lo que, de acuerdo a lo estudiado en esta sección, sugiere mayor potencial de automatización y reemplazo de trabajos. Por otra parte, hay 4 sectores con participación del empleo de alta calificación superior al 60%: Actividades profesionales, científicas y técnicas; Actividades financieras y de seguros; Enseñanza; Información y Comunicaciones.



**Figura 4** – Porcentaje de empleos de alta, mediana y baja calificación por rama de actividad económica (dato promedio 2017). Los empleos de alta calificación corresponden a los grupos ocupacionales 1 a 3 de acuerdo a la Clasificación internacional de grupo ocupacional CIUO-88. Los empleos de mediana calificación corresponden a los grupos 4 a 8. Los empleos de baja calificación corresponden al grupo 9. Se excluye del análisis el Grupo 0 (Otros no identificados). *Fuente:* Elaborado en base a INE

Identificar a los grupos con mayor vulnerabilidad es un elemento indispensable para poder implementar políticas públicas que enfrenten adecuadamente los desafíos de la automatización.

### III.2. Susceptibilidad de los trabajos a la automatización

A la luz de los avances en robótica e inteligencia artificial que se han producido en los últimos años, uno de los focos de la discusión política y económica ha sido en la posibilidad de que las nuevas tecnologías puedan sustituir el trabajo humano por el de máquinas inteligentes. Mientras que, históricamente, la computación ponía en riesgo a aquellos trabajos rutinarios basados en reglas explícitas, las nuevas capacidades tecnológicas en inteligencia artificial y robótica, como el reconocimiento de patrones y de imágenes o robots con mayores destrezas manuales, abre la posibilidad de que trabajos tradicionalmente considerados como de bajo riesgo de ser automatizados entren en esta denominación.

El trabajo seminal de Frey y Osborne (2017) es el primero en estimar cuán susceptibles son las ocupaciones actuales a los avances tecnológicos ocurridos en los últimos años, concluyendo que un 47% del empleo en los Estados Unidos presentaba un alto riesgo de ser automatizado. A diferencia de estudios anteriores, en los cuales la sustitución tecnológica de trabajo se enfocaba únicamente en aquellas tareas rutinarias que se podían describir en término de reglas secuenciales y explícitas, los autores consideran que, como consecuencia de la inteligencia artificial, la automatización puede extenderse a cualquier tarea no rutinaria (cognitiva o manual) que no esté sujeta a lo que denominan como «cuellos de botella tecnológicos» (conocidos en inglés como *engineering bottlenecks*). Los cuellos de botella tecnológicos corresponden a límites en la capacidad de las tecnologías para especificar el conjunto de reglas o procedimientos asociados a una tarea específica, en el sentido de poder replicar las habilidades humanas que serían requeridas para poder ejecutar exitosamente una tarea. Por ejemplo, la habilidad destreza manual se asocia a tareas tales como, empacar frutas en cajas lo más rápido posible, ensamblar las piezas mecánicas de una bicicleta o realizar cirugía a corazón abierto con instrumental quirúrgico. De acuerdo a los autores es posible clasificar estos cuellos de botella en tres: el primero, aquellas tareas que involucren la percepción y manipulación de objetos, considerando que los robots aún son

incapaces de contar con la capacidad de identificar profundidad y amplitud de la percepción humana; el segundo, la capacidad de llevar a cabo tareas que involucren inteligencia creativa, dado que los procesos psicológicos que subyacen la creatividad humana son complejos de especificar; y finalmente, aquellas tareas que involucren inteligencia social, ya que mientras algunos algoritmos son capaces de imitar algunos aspectos de la interacción social humana, aún presentan dificultades para identificar y responder a emociones humanas (ver Tabla 3).

Así, las ocupaciones más susceptibles a ser afectadas por el cambio tecnológico son aquellas en ramas industriales, como transporte y logística, soporte administrativo o en industrias productivas o manufactureras. Adicionalmente, destacan que una parte sustancial del trabajo en ocupaciones de servicio también presenta altos riesgos de automatización, respaldándose en un acelerado crecimiento en el mercado de servicios de robots y en la creciente disminución de la ventaja comparativa del trabajo humano en tareas que involucren movilidad y destreza. Por otra parte, los autores también estiman que la probabilidad de que un trabajo sea automatizable está fuerte y negativamente relacionada con los salarios y con el nivel educacional de los trabajadores. Esto es, aquellas ocupaciones que exhiben mayor probabilidad de ser automatizados, corresponden también a aquellas en las cuales los salarios son más bajos o en que los requisitos educacionales son también menores. Si bien los autores no buscan estimar el número de trabajos en riesgo ni cuándo serían automatizados, ponen el foco en el potencial de una ocupación de poder sustituida por un algoritmo de inteligencia artificial o un robot, de acuerdo a la tecnología de frontera.

**Tabla 3**

*Habilidades específicas asociadas a las limitaciones de la automatización*

Cuello de botella	Habilidades	Descripción
Percepción y manipulación	Destreza de dedos	La habilidad para hacer movimientos coordinados de los dedos de una o ambas manos para tomar, manipular o ensamblar pequeños objetos.
	Destreza manual	La habilidad para mover las manos rápidamente, la mano junto al brazo o ambas manos para tomar, manipular o ensamblar objetos.
	Espacios de trabajo reducidos	La capacidad de realizar trabajos en espacios reducidos y que requieran la adopción de posiciones de trabajo incómodas.
Inteligencia creativa	Originalidad	La habilidad de presentar ideas inusuales o ingeniosas sobre un tema o situación particular, o desarrollar formas creativas de solucionar un problema.
	Artes plásticas	Conocimiento de teoría y técnicas necesarias para componer, producir y ejecutar obras de música, danza, artes visuales, artes dramáticas o escultura.
Inteligencia social	Percepción social	Tener en consideración las reacciones de otros y entender las razones por las cuales reaccionan así.
	Negociación	Reunir a otros para intentar reconciliar diferencias.
	Persuasión	Persuadir a otros de cambiar su pensamiento o comportamiento.
	Asistir y cuidar de otros	Proveer asistencia personal, asistencia médica, apoyo emocional u otro tipo de cuidado personal a otros.

*Fuente:* Frey y Osborne (2017), Tabla 1.

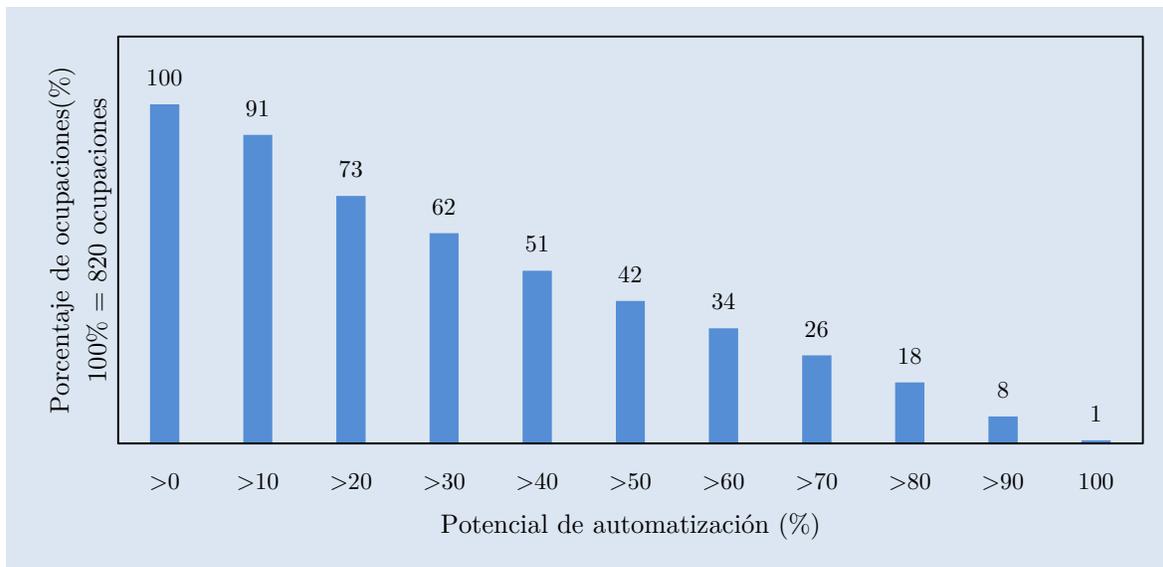
Sin embargo, la metodología de Frey y Osborne presenta una serie de limitaciones que podrían indicar que la magnitud del riesgo de automatización está siendo sobreestimado. Esta metodología considera automatizable a una ocupación sólo si todas las tareas que realiza son automatizables, pero realiza la clasificación únicamente en base a las nueve habilidades de cuello de botella definidas en la Tabla 3, sin considerar la heterogeneidad de tareas que se pueden observar dentro de la misma ocupación. En esta línea, Arntz, Gregory y Zierahn (2017) realizan un análisis a nivel individual de las tareas que componen a los distintos

trabajos, en vez del análisis agregado a nivel de ocupación de Frey y Osborne, y concluyen que aquellas ocupaciones con alto riesgo de ser automatizadas corresponden sólo a un 9% del total de ocupaciones. La idea subyacente, según los autores, es que la evaluación de los expertos sobre el potencial de automatización de un trabajo en Frey y Osborne (2017) es válida a nivel general, pero no suficiente para capturar las diferencias de tareas que existen en el lugar de trabajo para cada profesión. Por ejemplo, según Frey y Osborne, profesiones tales como contadores y auditores tienen asignada una probabilidad de automatización del 98%, sin embargo, Arntz et al. (2017) muestran que muchas de las tareas realizadas por estas profesiones corresponden a tareas que las máquinas tienen dificultades para realizar—principalmente en la resolución de problemas o negociando.

Al considerar esta aproximación basada en las tareas, los autores encuentran una moderada polarización en la probabilidad de automatización, con la mayoría de los trabajos conteniendo tareas expuestas a un riesgo intermedio de ser automatizadas. De esta forma, determinan que únicamente el 9% de las ocupaciones en los Estados Unidos se enfrentan a un riesgo de automatización superior al 70%, en contraste al 47% propuesto por Frey y Osborne (2017). En particular, aquellos trabajos más susceptibles son aquellos que involucren intercambios de información, ventas o destreza manual, mientras que aquellos con menor susceptibilidad son aquellas ocupaciones con tareas asociadas a programación, presentar información, entrenamiento o influenciar a otros. Estos hallazgos son acordes con la literatura, donde las tareas rutinarias son más susceptibles a ser automatizadas, mientras que las tareas que involucren interacciones sociales o cognitivas no rutinarias presentan menos riesgos de ser sustituidas (Acemoglu y Restrepo, 2018; Acemoglu y Autor, 2011; Autor, Levy y Murnane, 2003).

Aun considerando que la cantidad de ocupaciones que son susceptibles a ser completamente automatizadas es relativamente bajo, casi todas estas ocupaciones poseen actividades que pueden ser completamente automatizadas. En línea con el trabajo de Arntz

et al. (2017), Manyika et al. (2017) realizan un análisis sobre el potencial de automatización con base en las actividades realizadas en cada trabajo. Los autores estiman que un 50% de las actividades de los trabajadores alrededor del mundo tienen el potencial de ser completamente automatizadas, adaptando las tecnologías existentes. La Figura 4 presenta el porcentaje de ocupaciones, de un total de 820, que pueden sufrir cambios según el potencial de automatización de las actividades que las componen. Por ejemplo, el 62% de las ocupaciones contienen al menos 30% de actividades que pueden ser automatizadas, mientras que sólo un 26% contiene al menos un 70% automatizables. Según se puede observar en la Figura 4, no más de un 1% de las ocupaciones serían completamente automatizables, esto es, con un potencial de automatización del 100% con las tecnologías existentes a la fecha.



**Figura 5** – Porcentaje de actividades susceptibles a ser automatizadas según el potencial de automatización. Los autores definen potencial de automatización de acuerdo al número de actividades que componen un cargo que pueden ser completamente automatizadas, adaptando tecnologías probadas en la actualidad.

*Fuente:* Manyika et al. (2017), Figura E2.

Manyika et al. (2017) afirman que las actividades con mayor potencial de automatización son aquellas relacionadas al procesamiento y recolección de datos, así como a la realización de actividades físicas u operación de maquinaria en ambientes predecibles y controlados, mientras que aquellos menos susceptibles son aquellas actividades gerenciales y

de desarrollo de personas, toma de decisiones, planificación, o creativas, así como actividades físicas en ambientes impredecibles.

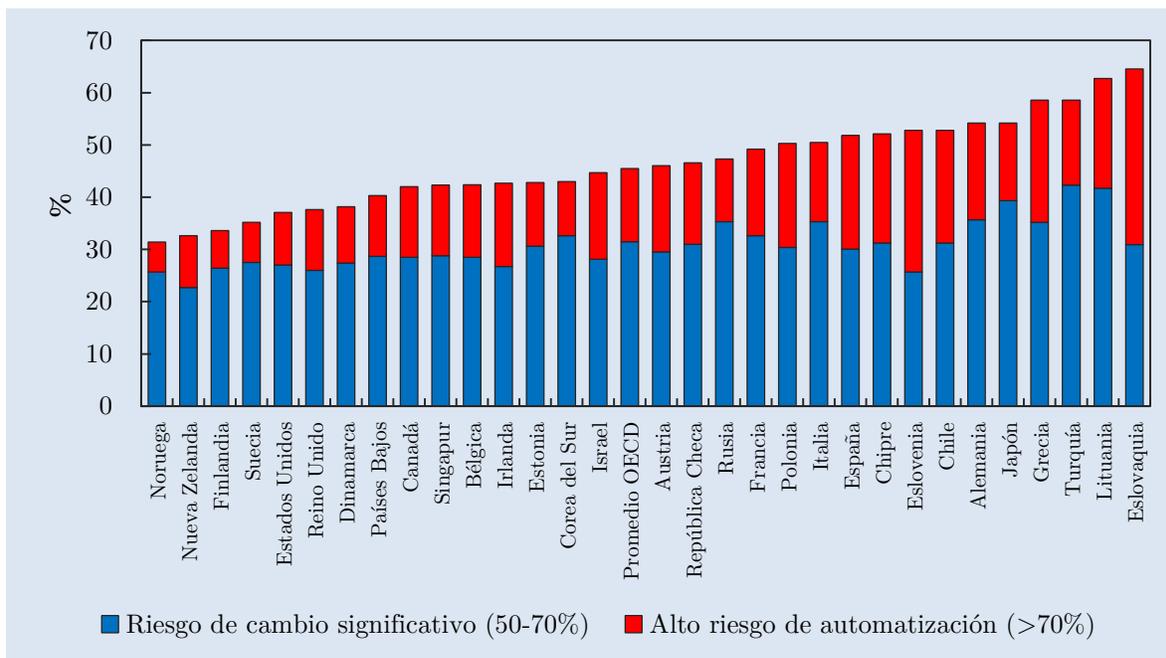
Finalmente, Nedelkoska y Quintini (2018) construyen sobre el trabajo de Frey y Osborne (2017)—y en línea con el estudio del riesgo de automatización a nivel del trabajo de Arntz et al. (2017)—para expandir la estimación del riesgo de automatización a los 32 países de la OECD que participaron de la Evaluación de Competencias de Adultos (PIAAC)<sup>16</sup> al momento del estudio. En la Figura 5 se muestran los resultados de las estimaciones realizadas donde se puede observar que, en promedio, el 14% de los trabajos de los países OECD que participaron en PIAAC son susceptibles a ser automatizados, mientras que el 32% podría enfrentar cambios significativos en las tareas que realizan. Asimismo, las ocupaciones en países como Nueva Zelanda, Estados Unidos, el Reino Unido o los países nórdicos, presentan menores riesgos de ser automatizadas que en países de Europa del Este y del Sur, Alemania, Chile o Japón. En este sentido, los resultados son consistentes con los encontrados por Arntz et al. (2017), diferenciándose de los resultados propuestos por Frey y Osborne (2017), lo que es evidencia que soporta la medición del riesgo de automatización a nivel de tareas, más que de ocupaciones y sería un indicador de que la introducción de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial tendría un impacto menor al que se esperaba hace un par de años en la transformación digital de las ocupaciones.

De acuerdo al estudio, más de dos tercios de la variación entre países se explican por las diferencias en la forma en que los mercados laborales estructuran los trabajos y la combinación de tareas correspondientes en el mismo sector económico, mientras que el otro

---

<sup>16</sup> En el marco del Programa Internacional de Evaluación de Competencias de Adultos de la OECD, la evaluación mide las competencias de los adultos en habilidades clave de procesamiento de información—como alfabetización, matemática básica y la resolución de problemas en ambientes tecnológicos—y recolecta información y datos sobre como los adultos utilizan sus habilidades, tanto en el hogar como en el trabajo. A la fecha, la evaluación se ha llevado a cabo en alrededor de 40 países miembros de la OECD, entre los que se encuentran países latinoamericanos como México y Chile.

tercio está explicado por diferencias en la estructura propia de cada economía. Finalmente, el estudio encuentra evidencia que, a través de todos los países de la muestra, el riesgo de automatización disminuye con el nivel educacional, con el nivel de las habilidades medidas y con el nivel de salarios, lo que es evidencia a favor de la hipótesis de SBTC. Además, se presenta una polarización en el riesgo de automatización en torno a la edad, donde los trabajos con mayor riesgo son aquellos de los jóvenes y de los adultos mayores.



**Figura 6** – Porcentaje de ocupaciones en riesgo de ser automatizadas por nivel de riesgo, para los 32 países OECD que participaron en PIAAC al momento del estudio. Las ocupaciones de alto riesgo corresponden a aquellas con más de un 70% de probabilidad de ser automatizadas, mientras aquellas con riesgo de cambios significativos son aquellas que presentan entre un 50% y 70% de probabilidad.  
*Fuente:* Nedelkoska y Quintini (2018).

Al comparar las metodologías expuestas, es posible concluir que las más adecuadas para estimar el riesgo de automatización de un trabajo corresponde a las metodologías de Arntz *et al.* (2017) y Nedelkoska y Quintini (2018). A diferencia del trabajo de Frey y Osborne (2017), el énfasis se debe poner en la composición de las tareas y actividades que se realizan en una ocupación particular, así como las habilidades que se utilizan para llevar a

cabo esas actividades. Según se ha establecido en la literatura económica respecto a este tema, los avances tecnológicos permiten sustituir algunas actividades y tareas humanas—antiguamente rutinarias, hoy también no rutinarias—lo cual modificará sustancialmente la composición de las ocupaciones como las conocemos hoy en día, pero difícilmente será capaz de sustituir la ocupación en su totalidad, y por lo tanto, debería considerarse a la automatización como el desencadenante de un proceso de transformación tecnológica, más que de desempleo tecnológico<sup>17</sup>.

### **III.3. Cambio tecnológico sobre los salarios y la participación del trabajo en la renta nacional**

La expansión de la inteligencia artificial en la economía no sólo tiene efectos sobre la demanda por trabajo, sino que también presiona al mercado laboral en relación a los salarios. La polarización del empleo está asociada también a un cambio en las estructuras salariales de los trabajos de distinta calificación, dependiendo de la complementariedad entre el nuevo capital tecnológico y el empleo (Acemoglu y Autor, 2011; DeCanio, 2016). Por un lado, las nuevas tecnologías disminuyen drásticamente el costo de adquirir información y las capacidades de procesarla, complementando a aquellos trabajadores que realizan tareas cognitivas—por ejemplo, médicos, abogados, analistas financieros—, liberando tiempo para análisis más profundos en vez de recopilar y procesar información. Por otro lado, la tecnología sustituye a muchas de las ocupaciones de apoyo a estas tareas, por lo que se ven desplazadas aquellas ocupaciones que involucran tareas rutinarias de aspectos cognitivos.

Los trabajadores en ocupaciones intensivas en tareas cognitivas no rutinarias se ven beneficiados a medida que la tecnología mejora su productividad—y, por lo tanto, la producción—, incrementando la demanda por bienes y servicios producidos, y

---

<sup>17</sup> Un análisis sobre el desempleo tecnológico se encuentra en “La hora de las máquinas” (Sánchez, J.M., 2018, Revista Universitaria N° 148, Pontificia Universidad Católica de Chile).

consecuentemente, la demanda por este tipo de trabajadores, generando un incremento en los salarios para los trabajadores altamente calificados (Acemoglu y Restrepo, 2018). Desde el punto de vista de la oferta, si los trabajadores poco calificados pudiesen moverse rápidamente a empleos de trabajadores altamente calificados, se podría mitigar el aumento en el salario. Sin embargo, muchas de estas profesiones requieren de mayores niveles de educación, lo que la oferta de trabajadores calificados tiene un rezago considerable de entre cinco a diez años. Luego, si bien ha aumentado la oferta de trabajadores con calificaciones, la respuesta no ha sido capaz de abarcar los movimientos de la demanda por trabajadores de estas características. Considerando la fuerte complementariedad entre tareas cognitivas y los avances en tecnología, un incremento en la demanda por trabajadores que lleven a cabo estas tareas y una oferta de trabajo inelástica en el corto-mediano plazo, es de esperar que ocupaciones que sean intensivas en este tipo de tareas experimenten un aumento en los salarios.

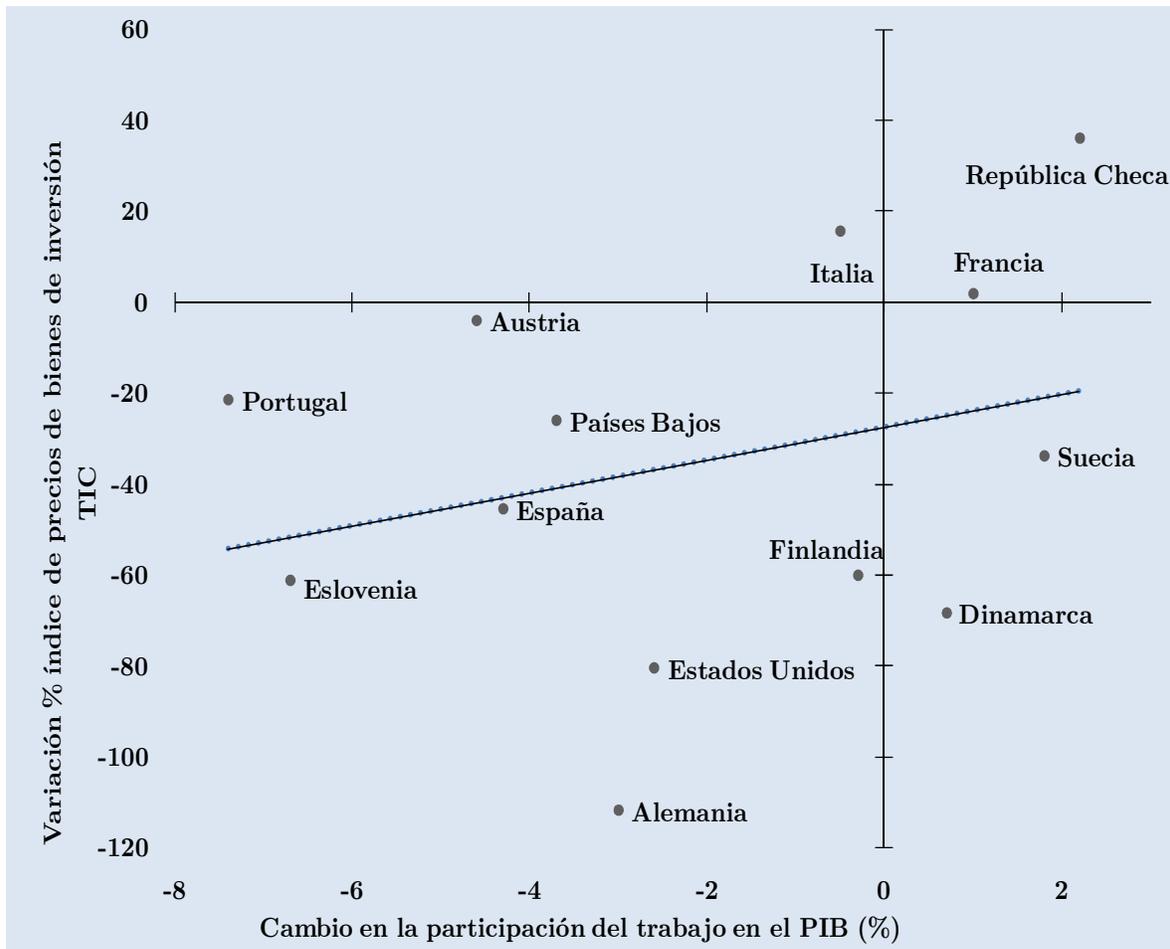
En cambio, aquellos trabajos intensivos en tareas manuales y rutinarias no presentan los mismos beneficios. Siguiendo lo expuesto en la sección anterior, una gran cantidad de los trabajos manuales no involucran procesamientos de datos ni de información como parte principal de sus tareas, por lo que las nuevas tecnologías tienen una influencia limitada sobre estas ocupaciones, tanto como complemento o sustituto. La literatura muestra que la demanda por ocupaciones que sean intensivas en tareas manuales es relativamente inelástica al precio de los bienes o servicios finales (Autor y Dorne, 2013), mientras que es relativamente elástica al ingreso, por lo que el avance tecnológico y las ganancias de productividad en otros sectores económicos indirectamente aumentan la demanda por este tipo de tareas al incrementar el ingreso de la sociedad (Autor, 2014). Desde el punto de vista de la oferta, este tipo de ocupaciones es intrínsecamente elástica, dados bajos requerimientos educacionales o de experiencia. Si bien es esperable un aumento en los salarios en el tiempo para este tipo de ocupaciones, con objeto de compensar a los trabajadores en dichos sectores

por no cambiarse a otros, el incremento en salario para este tipo de ocupaciones estará limitado por la respuesta elástica de la oferta, la cual incluiría a aquellos trabajadores desplazados de habilidades medias. Por ejemplo, Autor y Dorne (2013) presentan evidencia que los salarios de ocupaciones intensivas en tareas manuales aumentaron durante los noventa, cuando el mercado laboral estaba altamente presionado, pero que después del 2000, los salarios de en estas ocupaciones comenzaron a caer, a pesar de que la demanda por este tipo de ocupaciones seguía aumentando.

Karabarbounis y Neiman (2013) señala que entre 1975 y 2012, la participación del trabajo en el ingreso nacional ha caído de manera significativa en 59 países entre los que se encuentran desarrollados y emergentes, siendo el desarrollo de la tecnología una de las causas más importantes de este fenómeno. En forma similar, un trabajo reciente del FMI (2017) destaca que el progreso tecnológico, expresado en mayor crecimiento de la productividad en los bienes de capital relativo al resto de la economía, reduce el precio de los bienes de inversión e induce a las firmas a sustituir trabajo por capital. Además, el rápido avance de las tecnologías de información y comunicación acelera la automatización de las tareas rutinarias, por lo que la sustitución será mayor en aquellos trabajos más expuestos a esas tareas. Los resultados del trabajo indican que en las economías desarrolladas la tecnología, medida a través de la caída a largo plazo del precio relativo de los bienes de inversión y la exposición inicial a tareas rutinarias, ha sido el factor que más ha contribuido a la disminución de la participación del trabajo en la renta nacional, pudiendo atribuirse a la tecnología alrededor del 50% de la caída en el periodo 1993-2014. El impacto negativo del avance tecnológico sobre la participación del trabajo en las economías desarrolladas se da principalmente a través de la reducción de la participación del trabajo de calificación media en la renta.

Como se observa en la Figura 6, donde se muestran los cambios en la participación del trabajo en el PIB y la variación porcentual del precio de los bienes de inversión en

Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), para aquellas economías con información disponible para el periodo 1995–2015, la mayoría de los países muestra una caída en la participación del trabajo en el producto, lo que ha ocurrido en conjunto con una caída en los precios de bienes de inversión TIC<sup>18</sup>



**Figura 7** - Cambio en la participación del trabajo en el PIB y variación porcentual de precios de bienes de inversión TIC en el periodo 1995–2015 *Fuente:* Elaboración propia, con datos de OIT y EU Klems.

De esta manera, la evidencia y los datos tienden a confirmar la asociación entre menores precios relativos de los bienes de capital y la participación del trabajo en el ingreso

<sup>18</sup> El precio de los bienes de inversión en Tecnologías de Inversión y Comunicación corresponde al deflactor, calculado como el ratio entre la inversión nominal y real de estos bienes, lo que comprende equipos computacionales, equipos comunicacionales y software computacional.

(o en el producto). Cuando la elasticidad de sustitución entre capital y trabajo es mayor a uno, una reducción del precio del capital se traduce en una reducción de la participación del trabajo en la renta nacional. Las tareas rutinarias son más susceptibles de ser sustituidas por capital, lo que implica que los efectos redistributivos del avance tecnológico, no son soportados por igual entre todos los trabajadores, viéndose los de calificación media como los más afectados negativamente.

En conclusión, si bien las tecnologías han generado una polarización fuerte del empleo, el efecto agregado en salarios no es claro y dependerá de la sustitución o complementariedad entre capital tecnológico y trabajo. Sin embargo, es posible esperar un incremento en la brecha de salario entre los trabajadores que lleven a cabo tareas cognitivas no rutinarias, tareas características de ocupaciones de alta calificación, y los que lleven a cabo tareas manuales, junto con aquellos trabajos a los que la tecnología sustituya, aumentando así la desigualdad económica. Considerando que existen grandes variaciones en las tareas que se realizan para cada ocupación, así como entre ocupaciones, y que las variaciones en las tareas entre trabajadores en la misma ocupación están relacionadas directamente con características individuales, como raza, género o edad (Autor y Handel, 2013), es necesario considerar el impacto que puede tener el cambio tecnológico en la distribución del ingreso de los distintos grupos económicos al momento de formular políticas públicas. Por ejemplo, los autores encuentran que, en Estados Unidos, los hispanohablantes realizan menos tareas analíticas o interpersonales, pero más tareas físicas y cognitivas repetitivas que trabajadores del mismo nivel educacional, lo que los expone a condiciones laborales menos favorables que a sus pares igualmente educados.

## IV. Recomendaciones de política

De acuerdo a lo revisado a lo largo del trabajo, la capacidad de la robótica de realizar algunas actividades laborales con mejor rendimiento que la mano de obra, está provocando el desplazamiento de ciertos grupos de trabajadores. Para que lo anterior no se traduzca en costos sociales y económicos significativos, se hace necesaria la adopción de políticas que ayuden a la fuerza laboral actual y futura a adaptarse a los nuevos cambios, de manera de maximizar los beneficios de los avances tecnológicos y minimizar sus impactos negativos. Asimismo, cualquier acción destinada a promover la adopción y difusión de tecnología debe ser planificada teniendo en cuenta los eventuales impacto sobre el mercado laboral.

En esta sección se discuten políticas que buscan generar mercados laborales capaces de afrontar exitosamente los retos del fenómeno de la automatización. Principalmente, es necesario favorecer una mejor preparación de la fuerza laboral, para que los trabajadores cuenten con las capacidades necesarias para poder aprovechar los beneficios del progreso tecnológico. En paralelo, es relevante contar con una institucionalidad laboral que facilite la resiliencia y adaptabilidad en un escenario de constante cambio tecnológico y que pueda amortiguar lo más eficientemente posible los impactos negativos que pueden surgir en algunos segmentos de trabajadores. Adicionalmente, se discute la adopción de políticas de impulso al progreso tecnológico, que pueden tener impactos indirectos sobre el mercado laboral.

## **IV.1 Políticas prioritarias para abordar los desafíos de la automatización en los mercados laborales**

### **IV.1.1 Educación, capacitación y formación continua**

Uno de los elementos más importantes en este aspecto es que nos encontramos frente a un cambio de paradigma, en donde el aprendizaje ya no finaliza con la obtención de un título o de diplomas, sino que las capacidades de las personas requieren estar permanentemente adaptándose a los cambios y, por ende, se vuelve relevante la educación y formación continua. Actualmente, los conocimientos y habilidades adquiridas van quedando obsoletos con mayor rapidez que en el pasado, por lo que quienes permanentemente continúen perfeccionándose y adquiriendo nuevos conocimientos podrán adaptarse mejor al cambio tecnológico y, en consecuencia, aprovecharán mejor las oportunidades que ofrece el surgimiento de nuevas tecnologías. Además, el desarrollo de habilidades “blandas”---ligadas a las relaciones interpersonales, el liderazgo, la creatividad, entre otras---se torna crucial, toda vez que es precisamente este tipo de capacidades sobre las cuales el ser humano presenta una ventaja comparativa, ya que son habilidades que resultan más difíciles de ser imitadas por los avances tecnológicos. Considerando lo anterior, las políticas públicas deben cumplir tanto el rol de ofrecer una educación acorde a los requerimientos que impone el cambio tecnológico, como también el de facilitar el proceso de adaptación continua de los trabajadores, especialmente de los más vulnerables.

Dado lo anterior, es de suma importancia adoptar políticas educativas y programas de capacitación de manera de asegurar la provisión del talento demandado. Esto último, constituirá un gran desafío puesto que no sólo será necesario recapacitar a parte de la fuerza laboral actual, sino también comenzar a preparar a la fuerza laboral futura.

Xing y Marwala (2017) señalan que internet, los servicios provistos a través de la tecnología digital y las redes sociales están creando oportunidades y desafíos al sistema de educación formal. Según los datos del último reporte de competitividad global del Foro Económico Mundial (2017–2018), Chile se encuentra muy rezagado en calidad educativa de ciencia y matemática ya que ocupa el lugar 99 en un ranking de 137 países. De la misma manera, el acceso a internet en colegios del país es pobre comparado al nivel de acceso en los países OCDE. Del total de 37 países que componen la organización, Chile se ubica en el puesto 31. Dado que, estas áreas resultan de fundamental importancia para la formación de nuevas habilidades vinculadas con la tecnología, es necesario adoptar políticas que mejoren la calidad de formación sobre ellas. En línea con esto, Xing y Marwala (2017), resaltan que las reformas al sistema educativo deben darle un lugar de importancia a la innovación, tanto en el sentido evolucionario como revolucionario. El primero, se refiere a desarrollar innovaciones en base a las tecnologías existentes, mientras que el segundo a la creación de nuevas tecnologías. Por ejemplo, hoy en día la existencia de sistemas cyber-físicos se han vuelto una nueva norma, y en ellos es fundamental la herramienta de simulaciones numéricas para que los ingenieros puedan llevar a cabo análisis y predicciones sobre el sistema.

Un programa destacado en Latinoamérica en la formación de capital humano es MexicoFIRST, lanzado por el gobierno de México en 2008. Con el apoyo financiero de cámaras empresariales y asociaciones tecnológicas, el gobierno trabaja en conjunto con compañías tecnológicas y universidades a fin de coordinar las necesidades de la industria y los programas de formación de las casas de estudio (Dongier y Sudan, 2009).

Un instrumento muy usado por algunas economías desarrolladas, enfocado principalmente en las personas que forman parte de la fuerza laboral, es el de cuentas individuales de aprendizaje o entrenamiento. Estas consisten en la provisión de asistencia financiera a quienes necesiten mejorar su educación o formación laboral para mejorar sus oportunidades en el mercado de trabajo.

Un ejemplo de estos programas fue la Cuenta Individual de Aprendizaje (ILA en inglés) implementada por el Reino Unido a fines de los años 90 y focalizada en el aprendizaje de tecnología digital. El programa estaba destinado a personas adultas y de bajo recursos que necesitaran del desarrollo de habilidades en este campo y consistía en la provisión de una suma fija de dinero al empleado y beneficios impositivos al empleador. Pese a que el programa era novedoso, fue cancelado después de los dos años de operación debido a que daba lugar a maniobras fraudulentas de parte de proveedores de educación, quienes comenzaron a reclamar beneficios por cursos educativos que no proveyeron o que eran de muy baja calidad (Martin, 2017). La prisa por la puesta en marcha del programa, la planificación deficiente y un monitoreo inadecuado fueron algunas de las causas que provocaron los problemas por los cuales el programa ILA debió cerrarse (National Audit Office, 2002).

Un programa similar al del Reino Unido, vigente al día de hoy, es la Cuenta Individual de Entrenamiento (ITA) provisto en Estados Unidos a nivel estatal. Este consiste en un cupón de suma fija (*voucher*) y con tiempo de uso limitado, que una agencia gubernamental provee a un desempleado y que puede ser usado en algún centro de educación o formación laboral reconocido por el programa (Martin, 2017).

Francia lanzó un programa similar al de Estados Unidos, a comienzos de 2015 denominado Cuenta de Entrenamiento Personal (CPF en francés). Tan pronto como la persona entra al mundo laboral, adquiere una cuenta que acumula créditos en forma de horas de capacitación y que pueden ser usados para su formación laboral. Dicha cuenta, durante los 5 primeros años acumula hasta 24 horas de capacitación por año y luego la acumulación se va reduciendo hasta alcanzar un tope máximo total de 150 horas. En el caso de trabajadores de baja calificación, el programa suele ser más generoso y permite acumular hasta 48 horas de formación por cada año con un tope máximo de 400 horas. El programa

es reciente y aún se desconocen los efectos, sin embargo, puede ser una herramienta útil en caso de que el crédito pueda usarse para la formación en tecnologías digitales (Martin, 2017).

Otro programa reciente, lanzado en 2016, es el del gobierno de Singapur denominado Skills-Future. Este provee financiamiento a estudiantes y trabajadores para que estos se capaciten en la obtención de habilidades que son y serán demandadas en la transición hacia una economía empujada por la innovación. Tal como lo señala The Economist (2017), las autoridades del país están focalizando los recursos hacia esta iniciativa que, hacia 2016 contaba con fondos disponibles por 400 millones de dólares aproximadamente, pero con el objetivo de superar los 700 millones en el plazo de 3 años.

En línea con lo señalado por Nedelkoska y Quintini (2018), la desigual distribución en los riesgos de automatización incrementa la necesidad de preparar trabajadores para los requerimientos de los futuros puestos de trabajo. En un estudio para las economías OCDE, señala que el reentrenamiento y la formación en habilidades nuevas son fundamentales, especialmente para los trabajadores más susceptibles de ser reemplazados por máquinas. En este sentido, destaca la experiencia de Alemania, en la que la finalidad de la capacitación es que los trabajadores se muevan hacia ocupaciones menos susceptibles de ser automatizadas. Sin embargo, advierte que las transiciones son graduales debido a que los trabajadores eligen recalificarse en ocupaciones similares.

#### **IV.1.2. Institucionalidad laboral**

Las instituciones laborales son un factor estructural que determinan las variables de equilibrio en el mercado del trabajo. Las regulaciones del mercado laboral, las características de la negociación colectiva y sindicalización, los sistemas de protección ante el desempleo, entre otros, son parte de la institucionalidad laboral de una economía y, por tanto, son determinantes en la utilización del trabajo en el proceso productivo.

En el actual contexto de automatización, la institucionalidad laboral debe estar alineada con las necesidades de reinversión y adaptabilidad que requiere el escenario de rápido cambio tecnológico, y que tenga capacidad para amortiguar lo más eficientemente posible los impactos negativos que pueden surgir en algunos segmentos de trabajadores. En este sentido, es importante comprender que las diferencias en la institucionalidad laboral entre las distintas economías serán un factor clave en el grado de sustitución de trabajo por capital y determinarán, en parte, la capacidad de la fuerza de trabajo de sortear con éxito los desafíos que impone la llegada de la Cuarta Revolución Industrial.

Los mercados laborales rígidos exacerbaban los impactos negativos de la automatización en algunos segmentos de trabajadores, principalmente en términos de desempleo e informalidad. Por ello, una política efectiva para reducir el desempleo estructural y facilitar los procesos de adaptabilidad es la de eliminar las rigideces institucionales que dificultan la creación de puestos de trabajo. En línea con esto, el trabajo de Botero et al. (2004), por ejemplo, señala que la excesiva regulación del trabajo está asociada con mayores tasas de informalidad y desempleo y con una menor participación de la fuerza laboral. Esto implica que, en mercados con alta regulación, las personas que pierdan su empleo corren alto riesgo de pasar mucho tiempo en el desempleo.

Considerando lo último, Chile en sus instituciones laborales aún conserva elementos que retardan la creación de empleo de calidad, siendo el costo de despido uno de los más relevantes. En efecto, de acuerdo al último reporte de competitividad global del Foro Económico Mundial (2017–2018), el factor más problemático para hacer negocios en Chile es la existencia de regulaciones laborales restrictivas. El costo para terminar una relación laboral es uno de los más altos del mundo, donde Chile ocupa el puesto 112 de entre 137 países. Considerando el período de aviso y el monto pagado por indemnización; el costo de despedir a un empleado con cinco años de antigüedad en Chile es de aproximadamente 26 semanas de salario, mientras que el costo promedio de los países OCDE es 14 semanas.

La legislación sobre indemnización por años de servicio (IAS) ha sido utilizada ampliamente como uno de los principales mecanismos de apoyo ante el desempleo en los países en desarrollo y en particular, en América Latina. El espíritu fundamental de esta normativa es proteger a los trabajadores ante el evento del despido, evitando una situación de alta vulnerabilidad para el afectado y su familia mientras se encuentre sin trabajo, dándole tiempo hasta encontrar otro empleo y, por ende, una nueva fuente de ingresos. Sin embargo, la IAS genera una serie de distorsiones, por lo que no es el mecanismo más eficiente de protección. En efecto, en los países desarrollados el seguro de desempleo es el programa de protección más utilizado frente al desempleo (Vodopivec, 2004).

En Chile, la IAS se justificaba en el pasado como una alternativa ante la inexistencia de un seguro de desempleo adecuado que cubriera dichas necesidades. Sin embargo, la realidad ha cambiado mucho y hoy el país cuenta con un Seguro de Cesantía, que es el mecanismo más adecuado y eficiente para el fin que busca conseguir la IAS sin generar desincentivos a la contratación de trabajo, algo de fundamental importancia en un contexto en donde los precios decrecientes de la tecnología acrecientan el riesgo de automatización. Además, la existencia de seguros de desempleo bien diseñados—que protejan ante episodios de desempleo pero que, a la vez, incentiven a los trabajadores a reincorporarse rápidamente al mercado laboral—se vuelve más relevante toda vez que la lógica de trabajos de larga duración va quedando atrás y las personas transitan de un empleo a otro con una mayor frecuencia<sup>19</sup>.

La legislación de salario mínimo también tiene implicancias importantes para los mercados laborales en un contexto de automatización. Un estudio reciente de Lordan y Neumark (2018) encuentra evidencia de que los incrementos del salario mínimo reducen la

---

<sup>19</sup> Ciertamente, ante un escenario de cesantía masiva permanente, cualquier seguro de desempleo colapsaría de no haber ajustes en sus parámetros. Con todo, como se señaló en la sección II, la evidencia respecto al grado de sustitución de actividades realizadas por el ser humano apunta a un proceso acotado, y por tanto, resulta poco probable un escenario de desempleo tecnológico masivo.

participación de los empleos automatizables (aquellos con un alto componente de tareas rutinarias, que son fáciles de sustituir por máquinas para el empleador) entre los trabajadores de baja calificación. Al mismo tiempo reduce la probabilidad de que los trabajadores de baja calificación en empleos automatizables puedan mantener su puesto de trabajo, ya sea porque quedan sin empleo o porque son trasladados a peores empleos (a un grupo ocupacional más bajo). La evidencia muestra también que parte de los efectos adversos en el mercado laboral generados por el impacto negativo entre los trabajadores de baja calificación en empleos automatizables son contrarrestados por un aumento de las oportunidades de empleo para trabajadores de alta calificación.

La razón detrás de estos resultados que los incrementos del salario mínimo generarían un aumento relativo del costo de trabajadores de baja calificación que tendría efectos permanentes, ya que se acostumbra que el salario mínimo esté indexado (se reajuste al menos por inflación). Esto incentivaría a las firmas a adoptar las nuevas tecnologías en reemplazo de trabajadores.

Existen herramientas que son más eficientes que el salario mínimo para garantizar umbrales mínimos para salir de la pobreza, entre las que destacan los complementos vía transferencias. El Ingreso Ético Familiar es un programa que apunta en ese sentido, con un componente importante de transferencias condicionadas, que buscan incentivar la búsqueda de empleo y capacitación, entre otros. El problema de los incrementos del salario mínimo que no están alineados con los incrementos de productividad es que genera efectos perniciosos precisamente en segmentos de trabajadores que son los más vulnerables. El contexto de automatización obliga a repensar cuáles son las mejores estrategias y políticas públicas para lograr el mayor bienestar social y permitir superar la pobreza.

Cabe mencionar que existen elementos de la Reforma Laboral de 2016 que están contribuyendo a rigidizar la institucionalidad laboral chilena, y varias de sus medidas apuntan en una lógica opuesta a las necesidades de un contexto de automatización. La

prohibición total de reemplazo de los puestos de trabajo de los trabajadores en huelga, con trabajadores propios o externos de la empresa, llevó a Chile a una situación poco usual en los países de la OCDE, ya que en la mayoría de éstos existe algún mecanismo de reemplazo parcial. La evidencia empírica muestra que la prohibición aumenta tanto la incidencia de huelgas como la duración de éstas, lo que lleva a aumentos salariales no ligados a mayor productividad, con efectos negativos en el empleo<sup>20</sup>. Si bien lo que existía antes de la reforma era la posibilidad de reemplazo total, ahora pasamos al otro extremo. Lo ideal corresponde a una situación intermedia de reemplazo parcial, por ejemplo, con trabajadores internos, para conciliar los objetivos de que la huelga sea una herramienta legítima de negociación y, al mismo tiempo, no genere consecuencias de enorme gravedad, como el no cumplimiento de contratos y obligaciones, lo que afecta en mayor medida a pequeñas empresas.

Asimismo, mediante el dictamen ORD. N°448/6 de la Dirección del Trabajo, del 24 de enero de 2018, estableció la prohibición del uso de sistemas automatizados o electrónicos para reemplazar las labores de trabajadores en huelga legal. Así, si bien se considera lícito utilizar dispositivos o sistemas electrónicos o automatizados en un proceso productivo para sustituir la operación humana, siendo parte de las facultades de administración empresarial, esto se considera una práctica desleal si se realiza en un periodo de huelga o ante la “inminencia” de ella. Esto genera fuentes de dudas respecto a los periodos en que no se podrá implementar el uso de estas tecnologías y a cuáles mecanismos serán considerados como “reemplazo”, teniendo que ser arbitrado y aumentando así la posibilidad de judicialización.

Por otra parte, uno de los principales problemas de la normativa actual es que la definición de servicios mínimos es bastante escueta, señalando únicamente los principios generales, esto es, que la comisión negociadora sindical estará obligada a proveer el personal destinado a atender los servicios mínimos estrictamente necesarios para proteger los bienes corporales e instalaciones de la empresa y prevenir accidentes, así como a garantizar la

---

<sup>20</sup> Cramton et al (1999)

prestación de servicios de utilidad pública, la atención de necesidades básicas de la población, incluidas las relacionadas con la vida, la seguridad o la salud de las personas, y para garantizar la prevención de daños ambientales o sanitarios. La Dirección del Trabajo ha emitido diversos dictámenes para poder aplicar la ley, pero se han generado problemas de interpretación en la calificación de servicios mínimos por parte de empresas y sindicatos, ya que cada parte puede tener visiones muy diferentes de cuáles deben ser incluidos o no. La ausencia de criterios técnicos y la poca certeza jurídica en la definición de servicios mínimos amplifican aún más los efectos de la prohibición de reemplazar a los trabajadores durante la huelga, facilitando la capacidad de paralizar la empresa.

De esta manera, las nuevas restricciones que impuso la Reforma Laboral probablemente impulsarán una aceleración de la automatización de los procesos productivos. Aun así, existen algunos elementos positivos que se recogen en la ley que podrían ser aprovechados en un contexto de cambio tecnológico. La ampliación de materias de negociación colectiva impulsada por dicha reforma permite incluir, entre otros, acuerdos para la capacitación y reconversión productiva de los trabajadores, lo que como se ha señalado es un elemento vital para evitar posibles efectos perniciosos de la automatización en algunos segmentos de trabajadores. Una manera de proteger los puestos de trabajo es precisamente integrar a los trabajadores a los cambios tecnológicos en la empresa, haciéndolos parte del proceso y formándolos para que sean un factor complementario a la implementación de los avances tecnológicos.

## **IV.2 Consideraciones sobre las políticas de impulso al progreso tecnológico**

Además de las políticas prioritarias discutidas anteriormente, hay políticas que presentan efectos indirectos en el mercado laboral. Como se señaló anteriormente, los principales beneficios de esta nueva época, son la mayor productividad y eficiencia que

pueden alcanzar las compañías que adopten tecnología. Por esta razón, es muy común la sugerencia de promover la adopción de tecnología, sobre todo en un contexto de envejecimiento poblacional y en donde la productividad será clave para mantener el crecimiento de la economía mundial.

La política tributaria es un factor que puede favorecer el desarrollo y acumulación de tecnología. Por esto, muchos países han adoptado incentivos tributarios para fomentar la difusión de tecnología en sus economías. No obstante, el trabajo de Abbott y Bogenschneider (2018) señala que los sistemas tributarios deberían ser neutrales entre trabajadores humanos y robots, evitando así que los empleadores reemplacen el trabajo humano por robots sólo para evitar el pago de impuestos laborales. De igual manera, Katz (2015) advierte sobre las distorsiones que puede provocar la estrategia de dar beneficios impositivos específicos a la industria digital, pero dejar una alta carga impositiva sobre otras industrias. En este sentido, parece adecuada la observación de Hernández y Albagli (2017), la que afirma que la política tributaria no debe pensarse para descubrir mecanismos que inhiban la adopción de nuevas tecnologías, sino para lograr que los cambios inducidos por los avances tecnológicos respondan a la búsqueda de una mejor eficiencia y no al deseo de eludir regulaciones o impuestos.

El apoyo financiero para la creación y desarrollo de las firmas innovadoras y la incubación de empresas tecnológicas en entornos institucionales son otros factores que suelen propiciar la innovación en una economía (Katz, 2015). Asimismo, las actividades de investigación y desarrollo puede ser otra fuerza que ayude a la transición a una economía innovadora. No obstante, la adopción de estas políticas por si solas favorecería en mayor medida solo a los trabajadores de alta calificación, Por lo tanto, si al mismo tiempo no se propicia el entrenamiento de la fuerza laboral, lo anterior puede acrecentar la polarización del mercado de trabajo.

## V. Conclusiones

La Cuarta Revolución Industrial ha traído consigo un proceso de automatización, impulsado por tecnologías como la inteligencia artificial y la robótica avanzada, que están transformando de manera notable los mercados laborales de las economías en donde se adopta.

Con base en datos de utilización de robots industriales, se muestra que el mayor uso de esta tecnología está asociado con una reducción de la participación del empleo manufacturero en el empleo total, siendo un hallazgo consistente con la literatura que señala que los empleos de las ramas industriales son más susceptibles a ser automatizados. Asimismo, se observa que el aumento de la densidad robótica se asocia con un alza de la participación del empleo de alta calificación en el empleo total del sector manufacturero, en desmedro principalmente de la participación de los empleos de mediana calificación. Este resultado es consistente con la hipótesis RBTC y corrobora que los trabajadores más susceptibles de ser automatizados son aquellos que se desempeñan en tareas rutinarias.

Además, los datos analizados revelan que la participación del empleo en la renta nacional ha caído en las últimas décadas, de forma simultánea con el avance de las tecnologías. Los datos sugieren que, entre 1995 y 2015, la participación del trabajo en el producto nacional ha caído en la mayoría de las economías desarrolladas de la muestra. Al mismo tiempo, se observan fuertes disminuciones en los precios de equipos computacionales y de comunicación, lo que sugiere que la mayor disponibilidad de tecnología está induciendo a las compañías a sustituir el trabajo por bienes de capital.

Aunque el análisis se concentra en países desarrollados, las experiencias de estos países nos permiten dar luces de lo que puede ocurrir—ya sean fenómenos positivos, como negativos—en economías emergentes que van en tránsito al desarrollo, como Chile. En definitiva, lo que hay que aprender del pasado es que una buena parte de las antiguas

generaciones no pudieron competir con el potencial de las tecnologías, siendo sustituidos, lo que respalda la importancia de la adaptabilidad, la educación, la formación continua, entre otros, para poder aprovechar al máximo los beneficios de los avances tecnológicos.

Sin embargo, se abre la posibilidad de futuras líneas de investigación en relación a la susceptibilidad del mercado laboral chileno a la automatización, para entender qué segmentos de la población son los que se encuentran en mayor riesgo una vez que el fenómeno de automatización se masifique dentro del país.

## Referencias

Abbott, Ryan y Bogenschneider. (2017). Bret Should Robots Pay Taxes? Tax Policy in the Age of Automation. *Harvard Law & Policy Review*, Vol. 12, 2018. Disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2932483>

Acemoglu, D., y Autor, D. (2011). Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. *Handbook of Labor Economics*, 4(Part B), 154.

Acemoglu, D., y Restrepo, P. (2018). Artificial Intelligence, Automation and Work. National Bureau of Economics Research.

Arntz, M., Gregory, T., y Zierahn, U. (2017). Revisiting the risk of automation. *Economics Letters*, 159, 157–160.

Ashton, T. S. (1964). *The industrial revolution 1760–1830*. New York: Oxford University Press.

Autor, D. H. (2015). Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30.

Autor, D. H. (2013). The “Task Approach” to Labor Markets: An Overview. National Bureau of Economics Research.

Autor, D. H., y Dorn, D. (2013). The Growth of Low Skill Service Jobs and the Polarization of the U. S. Labor Market. *American Economic Review*, 103(5), 1553–1597.

Autor, D. H., y Handel, M. J. (2013). Putting Tasks to the Test: Human Capital, Job Tasks, and Wages. *Journal of Labor Economics*, 31(S1), S59–S96.

Autor, D. H., Katz, L. F., y Krueger, A. B. (1998). Computing inequality: Have computers changed the labor market? *Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1169–1213.

Autor, D. H., Levy, F., y Murnane, R. (2003). The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), 1279–1333.

Autor, D., Katz, L., y Kearney, M. (2006). The Polarization of the U. S. Labor Market. *The American Economic Review*, 96(2), 189–194.

Berman, E., Bound, J., y Griliches, Z. (1994). Changes in the Demand for Skilled Labor within U. S. Manufacturing: Evidence from the Annual Survey of Manufactures. *The Quarterly Journal of Economics*, 109(2), 367–397.

Botero, J. C., Djankov, S., Porta, R. L., Lopez–de–Silanes, F., y Shleifer, A. (2004). The regulation of labor. *The Quarterly Journal of Economics*, 119(4), 1339–1382.

Bright, J. Rieser. (1958). *Automation and management*. Boston: Harvard University.

Brynjolfsson, E., y McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company. Chandler, A. D. (1992). Organizational capabilities and the economic history of the industrial enterprise. *Journal of economic perspectives*, 6(3), 79–100.

Cockburn, I. M., Henderson, R., y Stern, S. (2018). The Impact of Artificial Intelligence on Innovation. Working paper No. w24449. National Bureau of Economic Research.

Cramton, P., Gunderson, M., Tracy, J. (1999). “The Effect of Collective Bargaining Legislation on Strikes and Wages”, *Review of Economics and Statistics*, 81.

David, P. A. (1990). “The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox”. *The American Economic Review*, 80(2), 355-361.

David, P. (1991). “Computer and dynamo: The modern productivity paradox in a not-too-distant mirror”. In *Technology and Productivity: The Challenge for Economic Policy, The Technology Economy Programmer, OECD Publishing, Paris, France*, 315-347. DeCanio, S. J. (2016). Robots and humans—complements or substitutes? *Journal of Macroeconomics*, 49, 280–291.

Devine, W. D., Jr. (1983). “From shafts to wires: Historical perspective on electrification”. *The Journal of Economic History*, 43(2): 347—72.

DiNardo, J. E., y Pischke, J. S. (1997). The returns to computer use revisited: Have pencils changed the wage structure too? *Quarterly Journal of Economics*, 112(1), 291–303.

Dongier, P., y Sudan, R. (2009). Realizing the Opportunities Presented by the Global Trade in IT–Based Services. En *Information and Communications for Development 2009: Extending Reach and Increasing Impact*, 103–22.

- Engels, F. (1845). *La situación de la clase obrera en Inglaterra (1845)*. Obras de Marx y Engels, 6.
- FMI (2017). Understanding the Downward Trend in Labor Income Shares. En *World Economic Outlook April 2017: Gaining Momentum?*, capítulo 3.
- Frey, C., Osborne, M. & Holmes, C. (2016). Technology at work v2.0: the future is not what it used to be, Oxford Martin Programme on Technology and Employment, Oxford Martin School and Citi GPS, Oxford.
- Frey, C. B., y Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280.
- Goldin, C., y Katz, L. F. (1998). The Origins of Technology–Skill Complementarity. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(3), 693–732.
- Goos, M., y Manning, A. (2007). Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain. *Review of Economics and Statistics*, 89(1), 118–133.
- Goos, M., y Manning, A. (2003). McJobs and MacJobs: The growing polarisation of jobs in the UK. In *The Labour Market Under New Labour: The State of Working Britain 2003* (pp. 70–85).
- Goos, M., Manning, A., y Salomons, A. (2014). Explaining Job Polarization: Routinization and Offshoring. *American Economic Review*, 104(8), 1–20.
- Goos, M., Manning, A., y Salomons, A. (2009). Job polarization in Europe. In *American Economic Review* (Vol. 99, pp. 58–63).
- Greenwood, J. (1999). The Third Industrial Revolution: Technology, Productivity, and Income Equality. *Economic Review – Federal Reserve Bank of Cleveland* 35: 2–12.
- Gordon, R. J. (2000). Does the “new economy” measure up to the great inventions of the past?. *Journal of economic perspectives*, 14(4), 49–74.
- Hawken, P., Lovins, A., y Lovins, L. H. *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution. 1999*. Boston: Little, Brown and Company.
- Hernández, L. y Abagli, P. (2017). *Economía Digital: Oportunidades y Desafíos*. Clapes UC, Documento de trabajo N°40.

- Hobsbawm, E. J. (1982). *Industria e imperio*. Barcelona: Ariel Historia.
- Jonscher, Charles. (1994). An Economic Study of the Information Technology Revolution, en Thomas J. Allen y Michael S. Scott–Morton, *Information Technology and the Corporation of the 1990s*. Oxford: Oxford University Press, pp. 5–42.
- Karabarbounis, L., y Neiman, B. (2013). The global decline of the labor share. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(1), 61–103.
- Katz, L. F., y Autor, D. H. (1999). Changes in the wage structure and earnings inequality. *Handbook of Labor Economics*, 3, 1463–1555.
- Katz, R. L., & Koutroumpis, P. (2013). Measuring digitization: A growth and welfare multiplier. *Technovation*, 33(10–11), 314–319.
- Katz, R. (2015). *El ecosistema y la economía digital en América Latina*. Fundación Telefónica.
- Kim, B. K. (2005). *Internationalizing the Internet: the Co-evolution of Influence and Technology*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Kinghorn, J. R., y Nye, J. V. (1996). The scale of production in western economic development: a comparison of official industry statistics in the United States, Britain, France, and Germany, 1905–1913. *The Journal of Economic History*, 56(1), 90–112.
- Lordan, G., y Neumark, D. (2018). People Versus Machines: The Impact of Minimum Wages on Automatable Jobs. *Labour Economics* 52, 40-53.
- Manning, A. (2004). We Can Work It Out: the Impact of Technological Change on the Demand for Low Skill Workers. *Scottish Journal of Political Economy*, 51(5), 581–609.
- Manyika, J., Lund, S., Michael, C., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., y Sanghvi, S. (2017). *Jobs Lost, Jobs Gained: Workforce Transitions in a Time of Automation*. McKinsey Global Institute, (December), 160.
- Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., y Dewhurst, M. (2017). *A Future that Works: Automation, Employment, and Productivity*. McKinsey Global Institute.

Martin, J. P. (2017). Policies to expand digital skills for the machine age. GLO Discussion Paper No. 42.

Marwala, U Mahola, y F.V. Nelwamondo, Hidden Markov models and Gaussian mixture models for bearing fault detection using fractals, In the Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, BC, Canada, pp. 5876–5881, 2006

Marwala. (2007). *Computational intelligence for modelling complex systems*. Research India Publications, Delhi, ISBN 978–81–904362–1–2.

Michaels, G., Natraj, A., y Van Reenen, J. (2014). Has ICT Polarized Skill Demand? Evidence from Eleven Countries over Twenty–Five Years. *Review of Economics and Statistics*, 96(1), 60–77.

Mokyr, J. (1998). The second industrial revolution, 1870–1914. *Storia dell'economia Mondiale*, 219–45.

National Audit Office. (2002). Individual Learning Accounts. Disponible en: <https://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2002/10/01021235.pdf>

Nedelkoska, L. y G. Quintini. (2018). Automation, skills use and training. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 202, OECD Publishing, Paris.

OCDE., (1998). *Harmful tax competition: an emerging global issue*. Publications de l'OCDE.

Ruding Committee, (1992). Report of the Committee of Independent Experts on Company Taxation. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Barcelona: Debate.

Schmidheiny, S. (1992). *Changing course: a global business perspective on development and the environment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Scranton, P. (2000). *Endless novelty: Specialty production and American industrialization, 1865–1925*. New Jersey: Princeton University Press.

Shapiro, C., y Varian, H. R. (1998). *Information rules: a strategic guide to the network economy*. Boston Massachusetts: Harvard Business School Press.

Spitz-Oener, A. (2006). Technical Change, Job Tasks, and Rising Educational Demands: Looking outside the Wage Structure. *Journal of Labor Economics*, 24(2), 235–270.

The Economist. (2017). Learning and earning. Special report, 14 de Enero.

Vodopivec, M. (2004). *Income Support Systems for the Unemployed: Issues and Options*, The World Bank, Regional and Sectoral Studies Series.

Von Weizsäcker, E. U., A. B. Lovins y L. H. Lovins (1997). *Faktor Vier: Doppelter Wohlstand – Halbierter Naturverbrauch*. München, Droemer Knaur.



 [clapesuc](#)

 [@clapesuc](#)

 [clapes\\_uc](#)

 [clapesuc](#)