

# ***Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Colombia***

---

Ramiro Albrieu  
Martín Rapetti  
Caterina Brest López  
Patricio Larroulet  
Alejo Sorrentino

# ***Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Colombia***

---

Ramiro Albrieu  
Martín Rapetti  
Caterina Brest López  
Patricio Larroulet  
Alejo Sorrentino

---

## Contenido

Resumen ejecutivo	<b>7</b>
1. Una historia de rezago	<b>9</b>
2. La oportunidad de la Inteligencia Artificial	<b>11</b>
3. Inteligencia artificial y crecimiento: escenarios posibles para Colombia	<b>13</b>
4. ¿Qué se necesita para aprovechar la oportunidad de la IA?	<b>20</b>
5. Reflexiones finales	<b>25</b>
Anexo 1. Metodología	<b>27</b>
Anexo 2. Ejemplos de adopción de IA en diferentes sectores productivos	<b>30</b>
Acerca de los autores	<b>33</b>

Microsoft Latinoamérica comisionó una serie de estudios al Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (CIPPEC) para analizar el impacto de la inteligencia artificial (IA) sobre el crecimiento económico en América Latina.

Microsoft (Nasdaq "MSFT", @microsoft) es una empresa de tecnología que provee soluciones para la transformación digital en la era de la nube y el entorno inteligente. Su misión es empoderar a cada persona y organización para que puedan hacer más gracias a la tecnología. Tiene experiencia apoyando a empresas en la adopción de IA, con énfasis en los sectores de Salud, Gobierno, Servicios Financieros, Manufactura, Agricultura, y Comercio con la visión de que es una tecnología capaz de amplificar el potencial humano. Bajo la serie de iniciativas de "AI for Good" destina recursos a organizaciones trabajando en resolver los grandes retos de la humanidad con apoyo de esta tecnología.

## Resumen ejecutivo

El mundo está comenzando a transitar una nueva revolución industrial —la cuarta— en la que la inteligencia artificial (IA) se destaca como una tecnología de propósito general (TPG) que lo cambia todo: la forma en que producimos, consumimos, comerciamos y trabajamos. La irrupción de la IA y otras tecnologías asociadas no se circunscribe a un conjunto reducido de sectores y actividades sino que es masiva.

La experiencia de las revoluciones industriales previas sugiere que aquellas firmas y países que más rápido adoptan las nuevas tecnologías son quienes obtienen más oportunidades de crecimiento. Estos episodios fueron unos de gran divergencia en los ingresos, la productividad y el bienestar entre los países. La cuarta revolución industrial abre una oportunidad de crecimiento para muchos países en desarrollo, incluyendo a los latinoamericanos.

Para entender cómo puede impactar la cuarta revolución industrial y más precisamente la irrupción de IA en las economías latinoamericanas, se desarrolla en este documento un ejercicio de simulación de escenarios alternativos de adopción y difusión de IA. Se calcula el impacto de cada escenario sobre el crecimiento de la

economía en general y de algunos sectores en particular durante los próximos 10 años. El ejercicio para el caso colombiano sugiere que el ritmo de crecimiento económico podría acelerarse en cerca de un punto porcentual por año durante la próxima década —superando el 4%— si se logra romper con la tendencia histórica y acelerar la tasa de adopción de tecnologías asociadas a IA. Los ejercicios muestran también que la aceleración del crecimiento no se restringiría a un pequeño puñado de sectores de alta tecnología sino que sería un fenómeno de carácter general.

Una rápida e intensa adopción tecnológica no es automática: requiere de empresas dinámicas que puedan absorber las tecnologías asociadas con IA y, sobre todo, de una fuerza de trabajo con habilidades, capacidades y conocimientos compatibles y complementarios a esas tecnologías. Es allí donde tanto Colombia como el resto de América Latina enfrenta un gran desafío: apenas un 18% de sus trabajadores cuenta con las habilidades que se potenciarán con la revolución de IA. Así, el papel del Estado es central para promover y facilitar el proceso de adopción tecnológica por parte de las firmas y para readaptar las habilidades de los trabajadores.

# Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Colombia

## 1. Una historia de rezago

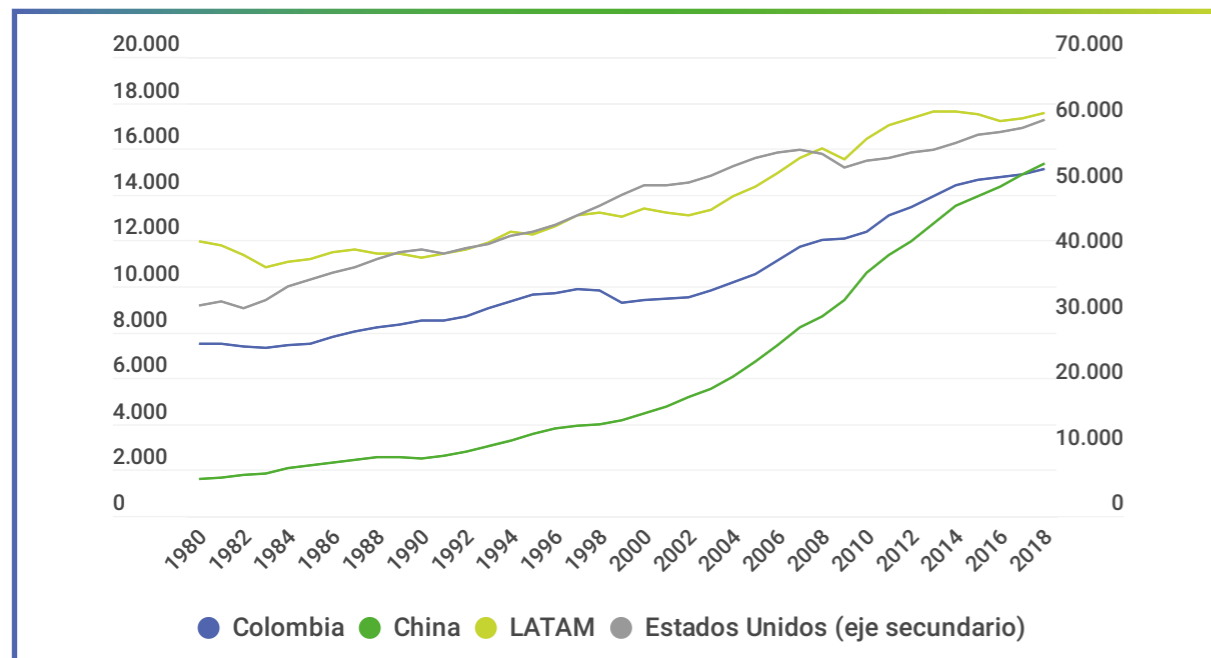
En América Latina (LATAM) han existido períodos de fuerte crecimiento en varios países en las últimas décadas, sobre todo de la mano del boom de las *commodities*. Así, varios países de la región han expandido marcadamente los niveles de bienestar de sus ciudadanos y ciudadanas en la última década y media. Colombia no ha sido una excepción: su crecimiento se ha acelerado gracias al espectacular aumento del precio de los combustibles, lubricantes y otros materiales relacionados, que representan hoy en día más del 40% de sus exportaciones.

Aun así, el desempeño económico promedio de los países de LATAM en las últimas décadas ha sido bastante magro y, al mirarlo desde una perspectiva de más largo plazo, el panorama resulta menos alentador. En 1980, el Producto Bruto Interno (PBI) por habitante de LATAM alcanzaba los 11.962 dólares constantes de Paridad de Poder Adquisitivo (PPP). Su vecino al norte, Estados Unidos, registraba en aquel momento un PBI por habitante cercano a los 32.100 dólares de PPP. De una manera aproximada, esta variable mide el nivel de bienestar de los ciudadanos y ciudadanas promedio de un país. Así, podemos decir que en 1980 el nivel de bienestar de una ciudadana latinoamericana promedio era alrededor del 37% de una estadounidense. Colombia se encontraba en aquel momento por debajo del promedio regional: su PBI por habitante apenas llegaba a los 7.500 dólares de PPP, que representaba tan sólo

el 23% del correspondiente a Estados Unidos.

¿En qué situación nos encontramos casi cuatro décadas después? Mientras que el PBI per cápita de Estados Unidos llegó a los 60.400 dólares de PPP, el promedio de LATAM se elevó apenas por encima de los 17.500. En otras palabras, el bienestar relativo de la ciudadana latinoamericana cayó al 29% de su par estadounidense. Algo no muy distinto ocurre con Colombia donde el nivel de vida, si bien se ha acercado más al promedio de LATAM, no mostró cambios significativos con respecto a Estados Unidos: en 2018, se estima un PBI por habitante de 15.100 dólares de PPP, representando el 25% del análogo norteamericano. Este patrón contrasta con el de varios países de Asia emergente que lograron en el mismo periodo acortar significativamente la distancia en los estándares de vida con respecto a los países desarrollados. En China, por ejemplo, el PBI per cápita representaba en 1980 un 5% del norteamericano, mientras que en la actualidad llega al 25%.

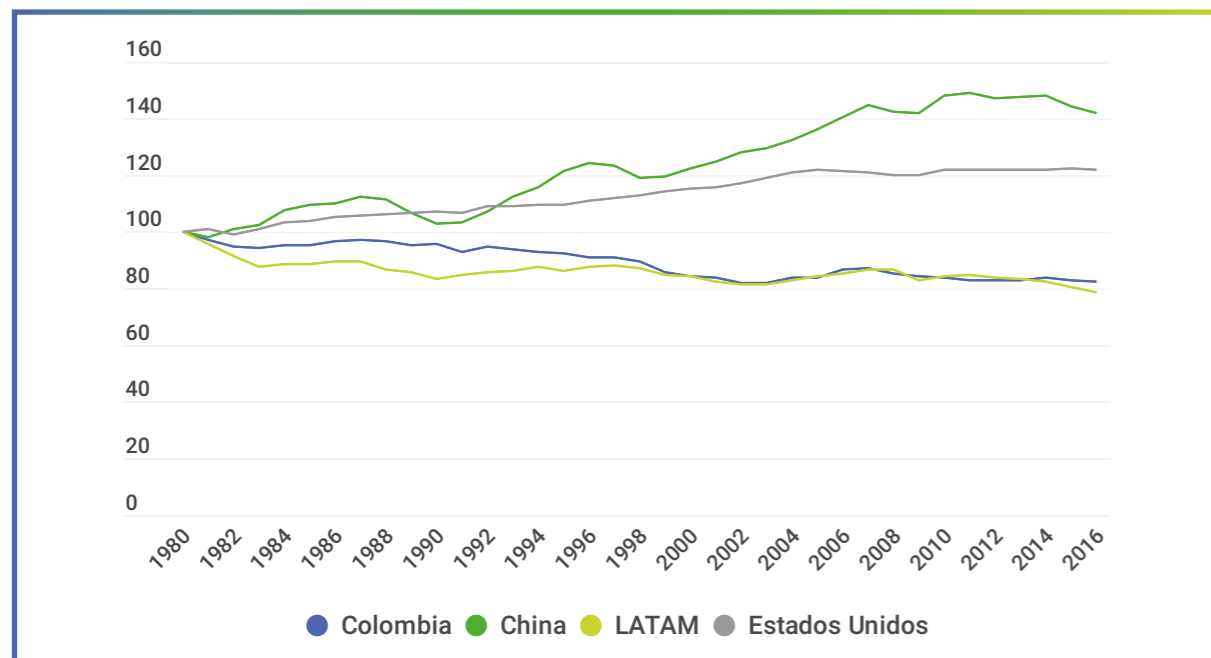
La mejora relativa que ocurrió en los últimos años de las manos de las *commodities*, ¿sentó las bases para el crecimiento sostenido? La respuesta a esta pregunta se asocia a la dinámica innovativa. Incorporar nuevas tecnologías es crucial para potenciar la capacidad productiva de los recursos humanos, naturales y de capital existentes, y así producir más y mejor. Innovar y generar ideas es un insumo central que permi-



**Figura 1. PBI per cápita en dólares de PPP de 2017**

Fuente: The Conference Board

Nota: The Conference Board presenta dos estimaciones para China, una oficial y otra alternativa. Aquí se presenta la segunda.



**Figura 2. Productividad Total de los Factores (1980=100)**

Fuente: The Conference Board

Nota: The Conference Board presenta dos estimaciones para China, una oficial y otra alternativa. Aquí se presenta la segunda.

te inventar nuevos productos y servicios y crear nuevos mercados.

No es sencillo medir la capacidad de adopción tecnológica y de innovación de una economía. El principal indicador disponible es la "Productividad Total de los Factores" o PTF. La PTF mide la parte del nivel de actividad que no es explicada directamente por *cuánto* trabajo o capital se utiliza en el proceso productivo sino por *cómo* se utilizan dichos factores productivos. Así, la principal fuente de crecimiento de la productividad que tiene una economía es adoptar nuevas tecnologías que potencien la capacidad productiva del trabajo y del capital así como la capacidad de innovar. En este aspecto, la diferencia entre Estados Unidos y LATAM es impactante: mientras en el primero la PTF creció en forma constante desde 1980, en LATAM se redujo en un 22%. El caso colombiano no dista mucho del caso latinoamericano promedio: su PTF se redujo en un 18% a

lo largo del mismo período. La comparación con los países de Asia Emergente ofrece resultados todavía más impactantes: en China, por ejemplo, la PTF creció un 40% en ese mismo período.

La principal manera de mejorar las condiciones de vida de los habitantes de un país en forma sostenida es mediante el crecimiento económico y la mejora de la productividad. Lograr una mayor productividad se traduce en empleos de mayor calidad y mejor pagos.

La conclusión es clara: para que una economía crezca de modo sostenido y mejore los niveles de vida de las personas se requiere un aumento continuo de la productividad. Para ello, es clave acelerar la adopción y difusión de nuevas tecnologías y promover procesos virtuosos de innovación. Es aquí donde los países latinoamericanos, Colombia incluida, tienen una oportunidad en el futuro.

## 2. La oportunidad de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) está cambiando la forma en que producimos, consumimos, comerciamos y trabajamos. Esta transformación profunda remite a la que trajo consigo la máquina de vapor a fines del siglo XVIII, la electricidad y las líneas de ensamblaje a fines del siglo XIX y las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) a fines del siglo XX –la primera, segunda y tercera revolución industrial, respectivamente. Las máquinas realizan hoy tareas cognitivas muy complejas que hace unos pocos años se limitaban al dominio humano, como el reconocimiento facial, el procesamiento y traducción del lenguaje natural o el reconocimiento de caracteres escritos. El cambio es tan profundo que muchos se preguntan si estamos experimentando una nueva "explosión cámbrica" –aquel período de diversificación acelerada de los

organismos vivos hace unos 500 millones de años— que esta vez afecta a las máquinas. No es casual entonces que estemos hablando hoy de la cuarta revolución industrial.

Existen dos razones por las cuales la cuarta revolución industrial, liderada por la IA, representa una ventana de oportunidad para América Latina y los demás países en desarrollo. La primera es que la revolución acaba de comenzar. Si bien se ha hablado de máquinas inteligentes durante las últimas siete décadas, recién ahora con la IA se puede pensar en incrementar la productividad de la economía en forma masiva. Esta tecnología ya no pertenece al mundo de la ciencia ficción sino que se trata de una Tecnología de Propósito General (TPG), esto es, una forma de organizar los factores productivos que en vez de afectar a sectores

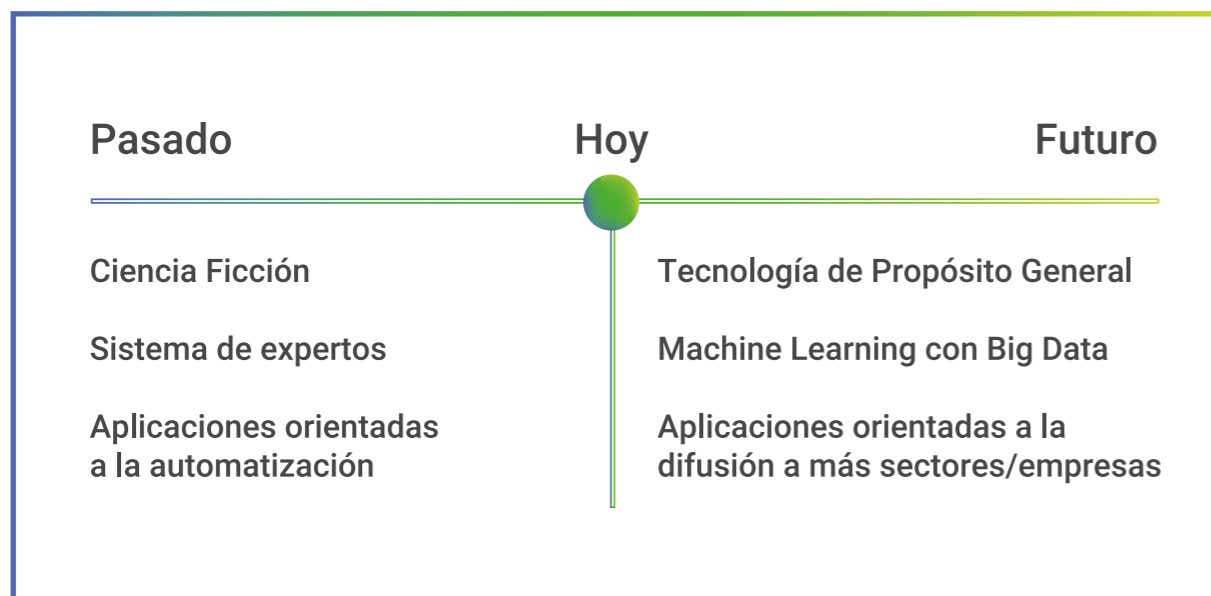


Figura 3. La ventana de oportunidad de la inteligencia artificial.

Fuente: elaboración propia

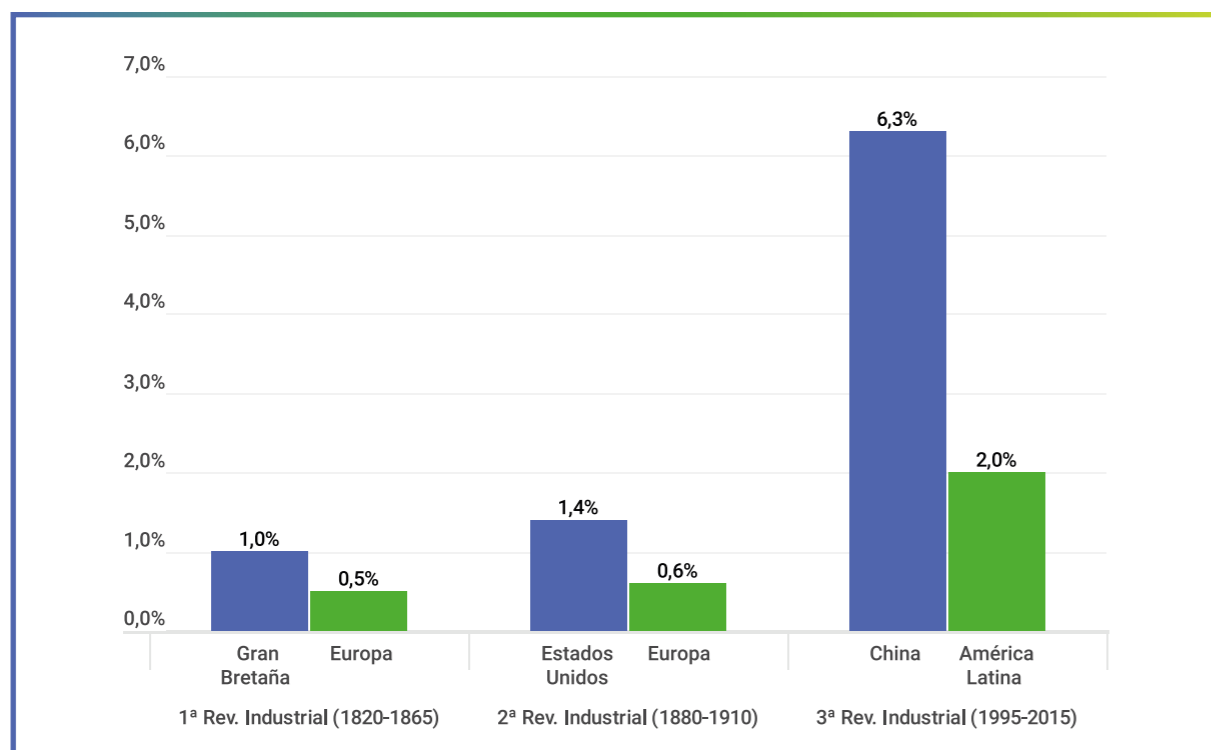


Figura 4. Crecimiento del PBI per cápita promedio en las sucesivas revoluciones industriales (en % de crec. anual).

Fuente: base de datos de Angus Maddison, versión 2018

específicos o empresas de ciertas características, cambia la forma de producir de toda la economía.

El pasaje de la IA como ciencia ficción a fuente de productividad y crecimiento se sostiene a su vez en dos ejes de cambio: el uso de *Machine Learning* en vez de sistemas simbólicos o de expertos, y la emergencia de aplicaciones que van más allá de la automatización/robotización y aplican IA en sectores variados y diversos tipos de empresa. La **Figura 3** sintetiza estos cambios: hoy estamos en un punto de inflexión.

La segunda razón por la cual esta revolución es una oportunidad para Colombia y para otros países de LATAM consiste en que actuar en forma proactiva y tomar la delantera en materia de incorporación de IA reporta importantes beneficios. La historia muestra que los periodos de revolución tecnológica también fueron fases de gran divergencia en los ingresos, la productividad y el bienestar entre los países: la aparición de ganadores y perdedores a nivel mundial.

En la primera revolución industrial, el Reino Unido fue líder y aventajó al resto; en la segunda revolución industrial fue el turno de Estados Unidos; en la tercera llegó el momento de Asia Emergente. América Latina se ha rezagado en forma sistemática.

La tasa de crecimiento promedio del PBI per cápita durante los comienzos de las tres revoluciones industriales da cuenta de esto (**Figura 4**). Durante la primera revolución — que tuvo lugar entre 1820 y 1865— la tasa de crecimiento del Reino Unido (UK) fue más del doble que del resto de sus competidores europeos de la época. El impacto de las tecnologías en el crecimiento de los países fue más acelerado aún durante la segunda revolución industrial transcurrida entre 1880 y 1910: mientras que Estados Unidos creció al 1,5%, Europa lo hizo al 0,6%. Finalmente, con la irrupción de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) entre 1995 y 2015, el crecimiento de China fue espectacular comparado con el del magro crecimiento de la región latinoamericana (LATAM).

### 3. Inteligencia artificial y crecimiento: escenarios posibles para Colombia

¿Cómo puede impactar la cuarta revolución industrial y más precisamente la irrupción de la IA en las economías latinoamericanas y, en particular, en la economía colombiana? Para contestar esta pregunta desarrollamos un ejercicio de simulación de escenarios alternativos de adopción y difusión de IA y su impacto sobre el crecimiento de toda la economía y de varios sectores económicos en los próximos 10 años. La metodología empleada se basó en la construcción de un modelo de crecimiento económico ampliado en el que se evalúan trayectorias alternativas de adopción de IA para los países de la región.

La forma más convencional de estudiar el crecimiento económico de un país es a través de la idea de que el PBI se produce mediante la

combinación del trabajo y capital con una determinada tecnología y organización productiva. La primera parte de la **Figura 5** ilustra el modelo de crecimiento económico convencional y sus tres componentes: el trabajo, el capital y la PTF, que captura las características organizativas y tecnológicas del proceso productivo.

En esencia, hay dos factores que conducen al crecimiento a lo largo del tiempo de la producción agregada de una economía. Uno es el aumento de los factores productivos, es decir, la incorporación de trabajadores y la acumulación de capital —máquinas, caminos, puertos y otros bienes reproducibles— al sistema productivo. Con mayor trabajo y/o capital, la producción crece. El otro factor es el crecimiento de la productividad (PTF)

que resulta tanto de las mejoras en la organización y eficiencia con la que se usan los factores (trabajo y capital) como de las innovaciones. Ambas —las mejoras en la eficiencia y las innovaciones— son muchas veces producto de la incorporación de nuevas tecnologías al sistema económico.

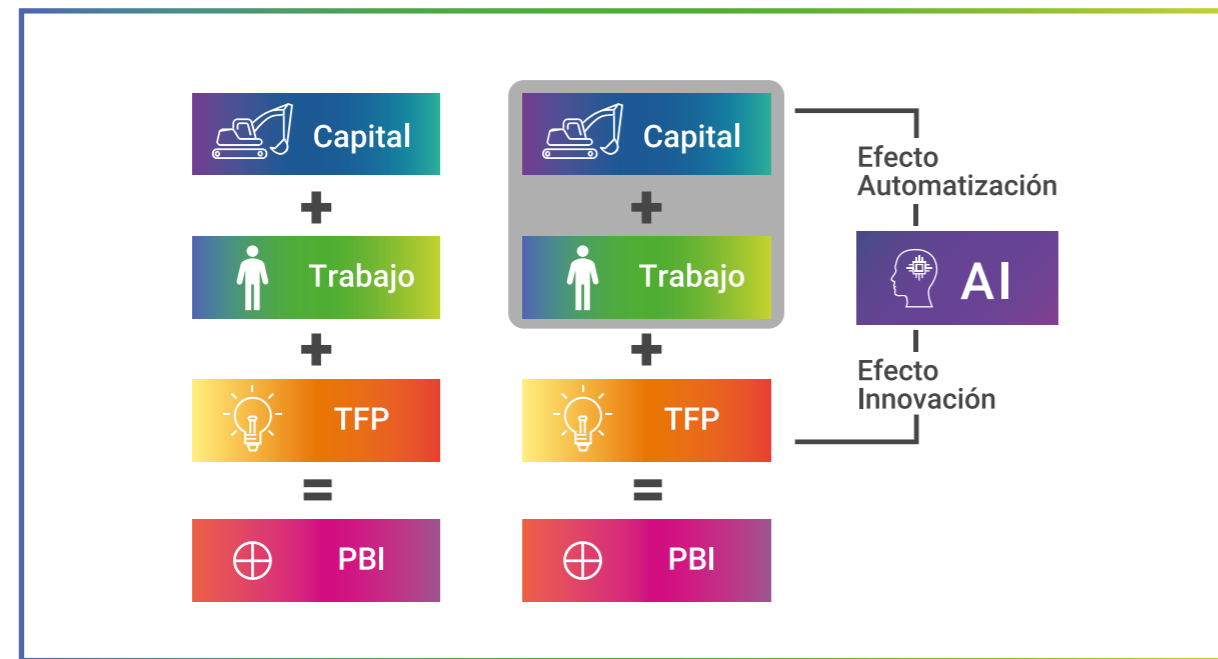
Uno de los principales aprendizajes de esta forma de pensar el crecimiento económico es que la evolución de la PTF es una fuente central de la prosperidad para una economía. En general, la dinámica de este componente responde a la introducción de tecnologías que modifican en forma drástica los modos de producción. La irrupción de las Tecnologías de Propósito General (TPG) no sólo genera una reasignación más eficiente de los factores productivos existentes, sino también la aparición de nuevas actividades y procesos antes desconocidos.

Siguiendo el modelo desarrollado en Aghion, Jones, & Jones (2017), modelamos la adopción de IA como una TPG que permite producir lo mismo que antes en forma más eficiente —gracias a la automatización de ciertas tareas que antes

las realizaba el trabajo humano— y que, además, tiene el potencial de fomentar la innovación y la generación de ideas. Más específicamente, modelizamos dos canales a través de los cuales la adopción de IA acelera el crecimiento económico: (a) el "Efecto Automatización", que captura el uso más intensivo de máquinas inteligentes en el proceso productivo permitiendo producir más con la misma cantidad de empleo y (b) el "Efecto Innovación", que recoge el impacto positivo de IA sobre el crecimiento a través de la innovación de productos, actividades y mercados. La segunda parte de la **Figura 5** describe el modelo ampliado por IA y sus dos efectos sobre el crecimiento. Los anexos al final del documento detallan las características específicas de nuestro modelo, los métodos de selección y estimación de los parámetros y las fuentes de datos empleadas.

Para evaluar el posible impacto de la IA en Latinoamérica los próximos diez años, desarrollamos tres escenarios alternativos de adopción de IA y, consecuentemente, de los efectos Automatización e Innovación.

• **Escenario negativo.** Este escenario refleja un



**Figura 5. Nexos entre inteligencia artificial y crecimiento**  
Fuente: elaboración propia

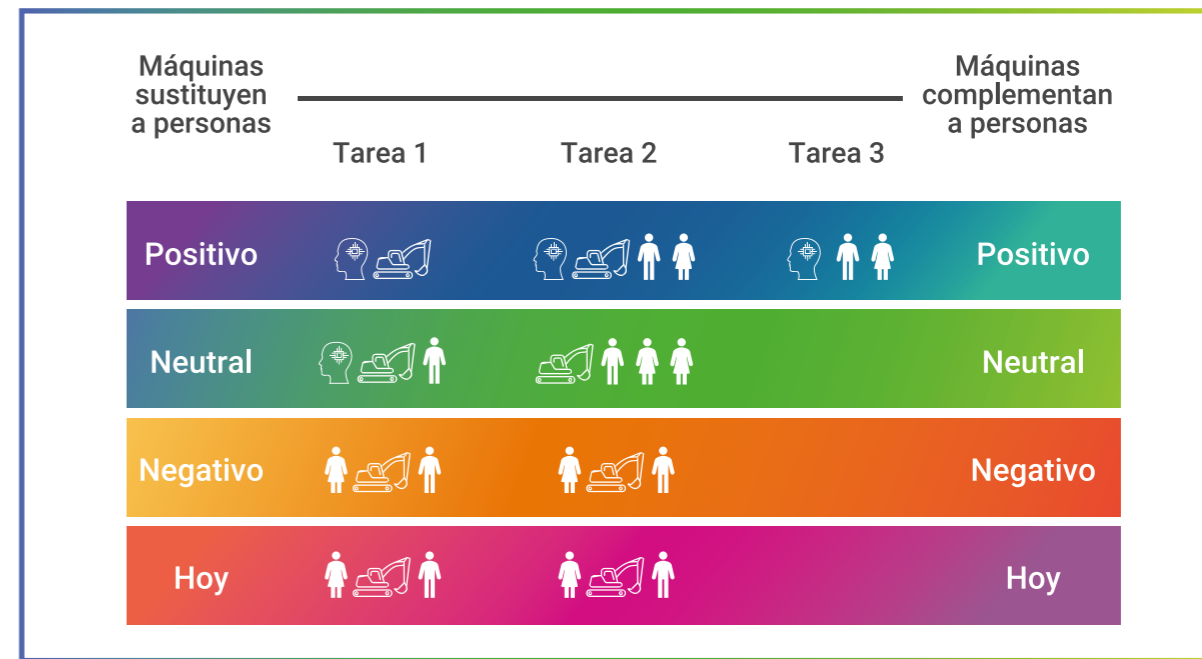
deterioro con respecto a la tendencia histórica de adopción y difusión de tecnologías. Supone que no existe adopción de la IA y, por lo tanto, el crecimiento económico no se ve afectado por ninguno de los dos efectos mencionados. Se asume que —a diferencia de lo que ocurrió durante la tercera revolución industrial con las TIC— no hay automatización de tareas a lo largo del período considerado y que la evolución de la PTF se mantiene sin cambios en relación a la trayectoria observada en el pasado.

• **Escenario neutral.** Este escenario es de continuidad y asume que América Latina en su conjunto absorbe las tecnologías asociadas a la IA al mismo ritmo que lo hizo con las TIC durante la tercera revolución industrial. En el modelo elaborado a propósito de este ejercicio, el escenario se representa con un Efecto Automatización suave que acelera el crecimiento económico pero sin Efecto Innovación. Esto último implica que el comportamiento de la PTF se asume igual al del escenario anterior, vale decir, sin cambios con respecto a la trayectoria pasada.

• **Escenario positivo.** Este escenario asume una adopción y difusión de la IA en Latinoamérica muy superior en relación a lo ocurrido durante la tercera revolución industrial con las TIC. En el modelo, se representa con un Efecto Automatización que es un 50% superior al ocurrido con las TIC y un Efecto Innovación que genera la mitad del crecimiento de la PTF que lograron las economías de Asia Emergente durante la tercera revolución industrial.

Cada uno de los escenarios implica una reasignación específica de factores productivos. La **Figura 6** ilustra con un esquema sencillo este punto. Se parte de una situación inicial ("Hoy") en la que el proceso productivo consta de dos tareas, una donde las máquinas son más eficientes que las personas y otra donde ocurre lo contrario. En ambas se emplea trabajo (representado con una mujer y un hombre en cada tarea) y capital (representado con una máquina excavadora). A partir de allí se definen los tres escenarios o futuros alternativos:

• En el escenario negativo nada cambia respecto a la situación inicial porque la IA no es



**Figura 6. Escenarios de adopción de inteligencia artificial y los efectos Automatización e Innovación.**  
Fuente: elaboración propia



adoptada en el proceso productivo. Como no hay ni efecto Automatización ni efecto Innovación, no hay reasignación de factores productivos a lo largo de los sectores.

- En el escenario neutral hay incorporación parcial de la IA, lo cual se representa con el símbolo de IA. El Efecto Automatización ocurre en la "Tarea #1", la cual se realiza ahora con una sola persona en vez de dos. Esa ganancia de eficiencia permite una reasignación del factor trabajo hacia la "Tarea #2", en la cual ahora participan tres personas en vez de dos.

- En el escenario positivo la adopción de IA es potente y se representa con un símbolo en todas las tareas. El Efecto Automatización es más intenso que en el escenario neutral, y es potenciado por el efecto Innovación, de manera que se crean nuevas tareas/bienes. Lo primero se ilustra con el desplazamiento de una persona de la "Tarea #1" —la cual queda completamente automatizada— y también de la "Tarea #2". Lo segundo se representa con la aparición de la "Tarea #3", la cual emplea a dos

trabajadores que han sido sustituidos por IA en las dos tareas preexistentes.

Dada la naturaleza estilizada del modelo que empleamos así como la calidad de los datos oficiales utilizados, los resultados de los ejercicios de simulación de los tres escenarios presentados a continuación no pueden tomarse como predictivos. Más bien, son ilustrativos de los órdenes de magnitud que pueden estar asociados a las distintas trayectorias posibles de adopción y difusión de IA en la economía. El análisis omite variables como efectos climáticos, políticos, sociales y de la economía internacional que típicamente afectan (y han afectado) la trayectoria de crecimiento en la región a lo largo de su historia. Las simulaciones consideran el aumento esperado del empleo y acumulación de capital.

### 3.1 Impacto Agregado

Los principales resultados del trabajo se encuentran en la **Figura 7**, que muestra las tasas de crecimiento anual promedio del PBI para LA-

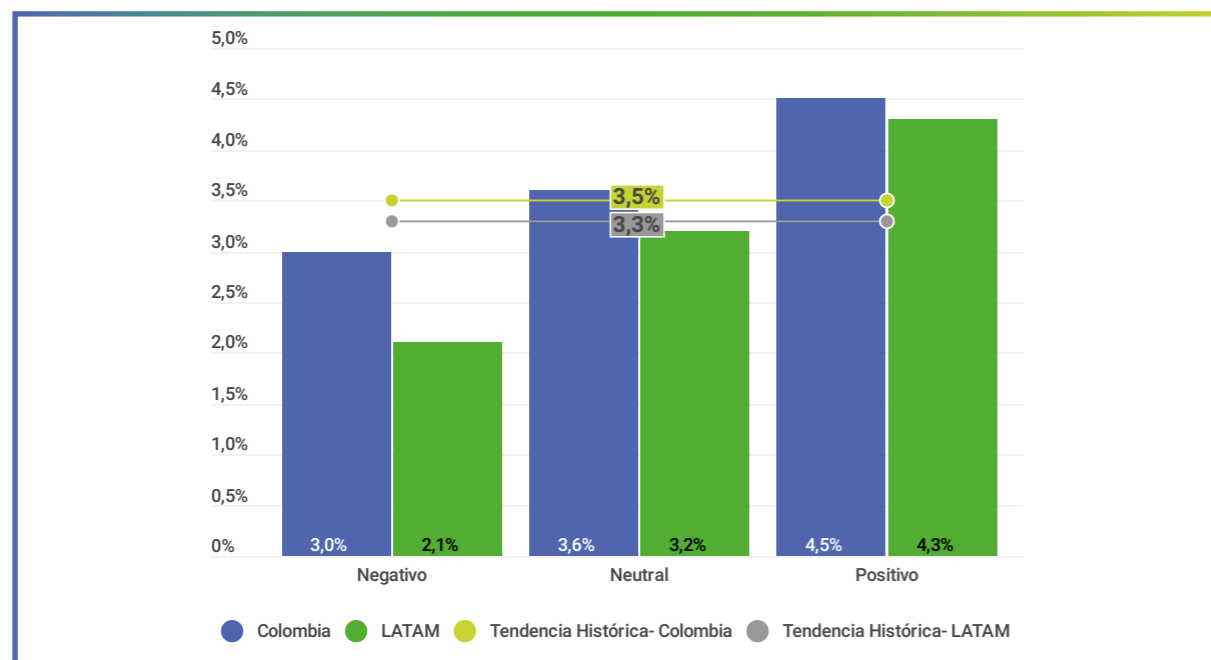


Figura 7. Proyección de tasas de crecimiento del PBI por escenario (2018-2028)

Fuente: elaboración propia

TAM y Colombia en los próximos 10 años según los tres escenarios/futuros posibles planteados. El escenario negativo (con cero adopción de IA) implicaría una caída del ritmo de crecimiento desde 3,3% anual observado como tendencia histórica desde 1990 a 2,1% en la próxima década para la región en su conjunto. En particular, si bien la economía colombiana experimentaría una desaceleración en este escenario, sería menor que la sufrida por LATAM ya que pasaría de 3,5% -tendencia histórica desde 1990- a 3% para la próxima década. El escenario neutral muestra una tasa de crecimiento anual promedio de 3,2% y 3,6% para LATAM y Colombia respectivamente. En ambos casos, las tasas resultan similares a la tendencia histórica. Por último, el caso positivo muestra una aceleración muy marcada del ritmo de crecimiento económico en América latina: el crecimiento se incrementa a 4,3% por año hasta 2028. Si bien existen heterogeneidades al interior de LATAM, el impacto en el crecimiento para el caso colombiano sería algo mejor al de la región. La tasa de crecimiento se acelera hasta 4,5% promedio anual en la próxima década.

Como cabe esperar, las diferencias entre las tasas de crecimiento se explican por la intensidad con la que se asume la adopción de IA a través de los Efectos Automatización e Innovación. Al no haberse materializado ninguno de los efectos positivos sobre el crecimiento de la adopción de IA, el escenario negativo conduce a una desaceleración del crecimiento respecto al pasado. En el escenario neutral, la tasa de adopción tecnológica y el crecimiento de la PTF es similar a las del pasado, y en consecuencia el crecimiento económico que refleja el escenario neutral no se distingue de la tendencia a la que han venido creciendo tanto Colombia como LATAM en las últimas décadas: representa entonces el *status quo*. En cambio, en el escenario positivo, la automatización y la innovación que genera una fuerte adopción de la IA son mucho más potentes que en el pasado, lo que deriva en una fuerte aceleración del crecimiento económico en la región.

Para dar nociones más palpables respecto de lo que implican las tasas de crecimiento de los tres escenarios, la **Figura 8** reproduce los resultados del ejercicio de simulación en términos de PBI

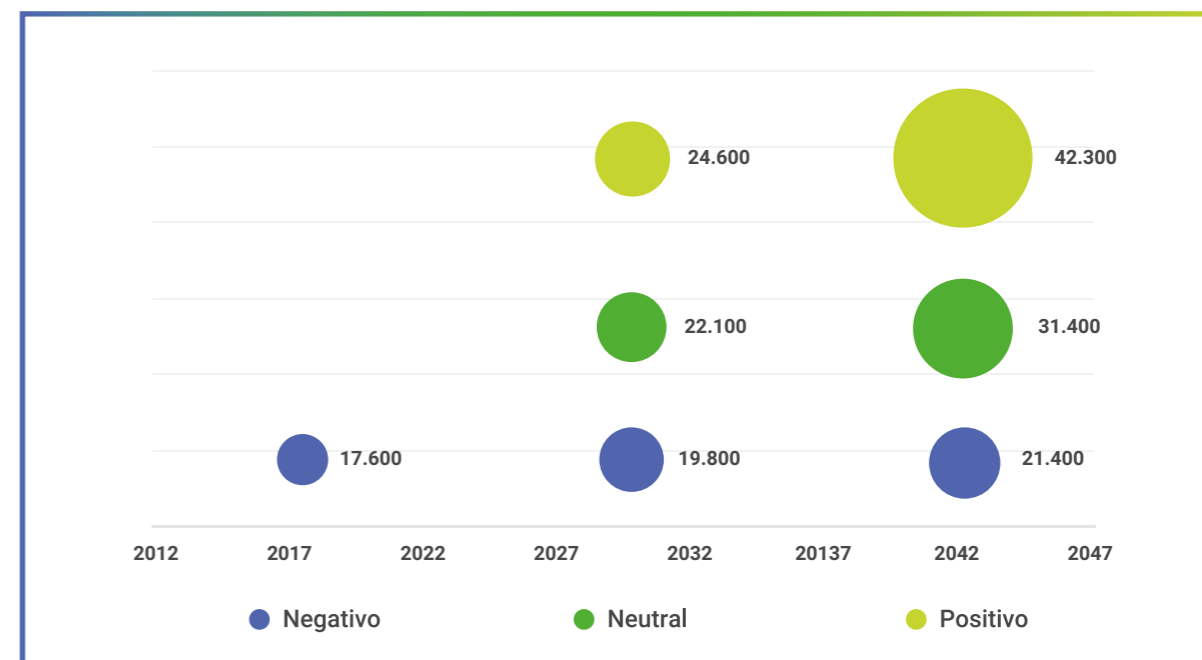


Figura 8. PBI per cápita a PPP promedio América Latina, por escenario, en US\$.

Fuente: elaboración propia

per cápita de PPP, es decir, la evolución del nivel de bienestar para el promedio de América Latina.

Partiendo de los US\$17.600 por persona en Latinoamérica para el año 2018, el escenario pesimista anticipa un valor de US\$19.800 en 2028 y otro de US\$21.400 para 2038. Un escenario así implicaría una década casi perdida para los primeros 10 años y un ingreso promedio algo mayor a lo que hoy dispone un ciudadano argentino para dentro de 20 años. El caso colombiano sería algo más optimista dado que pasaría de un PBI per cápita de US\$ 15.100 en la actualidad a uno de US\$18.900 en diez años y de US\$ 22.500 en veinte. En el escenario neutral, el PBI per cápita de LATAM ascendería dentro de 10 años a US\$22.100 —similar al PBI per cápita actual de México— y a US\$31.400 dentro de 20 años. Este último valor se asemeja al ingreso promedio actual por habitante en Bélgica. Colombia alcanzaría en dos décadas un PBI por habitante de US\$34.400, similar al de los eslovenos. Por último, en el escenario positivo LATAM alcanzaría un PBI por habitante de US\$24.600 para 2028, que es cercano al de un portugués hoy y para 2038 de US\$42.300, el cual se encuentra al nivel de Suiza. Colombia, por su parte, podría acercarse al nivel de vida de los búlgaros en 2028, con un PBI per cápita de US\$21.700, y a de los canadienses, con uno de US\$48.300.

### 3.2 Impacto sectorial

Los resultados discutidos en la sección anterior se refieren al comportamiento agregado. Detrás del mismo se esconden un sinnúmero de disrupciones a nivel sectorial en el que las empresas redefinen sus modelos de negocios, esto es, cómo se produce y qué, y cómo se vende. Los ejemplos abundan en sectores tan diversos como la producción manufacturera, el comercio o la agricultura.

Algunas historias específicas de empresas que están liderando el cambio pueden servir de ilustración.

S4Agtech, por ejemplo, es una *start-up* argentina que, a partir de herramientas de Microsoft Azure, *Machine Learning* y el uso de grandes bases de datos satelitales de la NASA, desarrolló el primer índice del mundo para medir los riesgos de la producción de granos. En Perú, el Banco de Crédito del Perú desarrolló Arturito BCP, un BOT que opera con inteligencia artificial vía Facebook Messenger y sirve para personalizar la interacción entre el cliente y la compañía. En México, Unima desarrolló una herramienta de diagnóstico oportuno que, a través de un dispositivo fácil de usar — como un *smartphone*— permite saber si una persona está infectada de alguna enfermedad como la tuberculosis o la influenza. Otros ejemplos de adopción exitosa de IA a nivel firma se describen en el apéndice.

En este documento tratamos de capturar cómo este tipo de innovaciones generan nuevas oportunidades para diferentes sectores de la economía. Con este fin, empleamos un modelo de crecimiento económico similar al que describimos anteriormente pero aplicado a cinco sectores específicos: comercio, manufacturas, servicios financieros, salud y gobierno. Al igual que en el modelo agregado, se estudiaron los efectos de la automatización y la innovación en los tres escenarios/futuros posibles<sup>1</sup>. Debido a que no se cuentan con series de tiempo con datos desagregados a nivel sectorial para Colombia, el ejercicio que se presenta a continuación emplea datos de Argentina, Brasil, Chile, México y Perú (LATAM). Entendemos que la situación es lo suficientemente representativa de lo que sucede en Colombia. Hacemos lo mismo en la próxima sección con relación al análisis del mercado de trabajo para el cual tampoco se dispone de la información necesaria.

La **Figura 9** muestra las tasas de crecimiento anual promedio de la producción de cada sector para los próximos diez años para los tres escenarios. El resultado principal es que en todos los sectores estudiados el impacto de la adopción

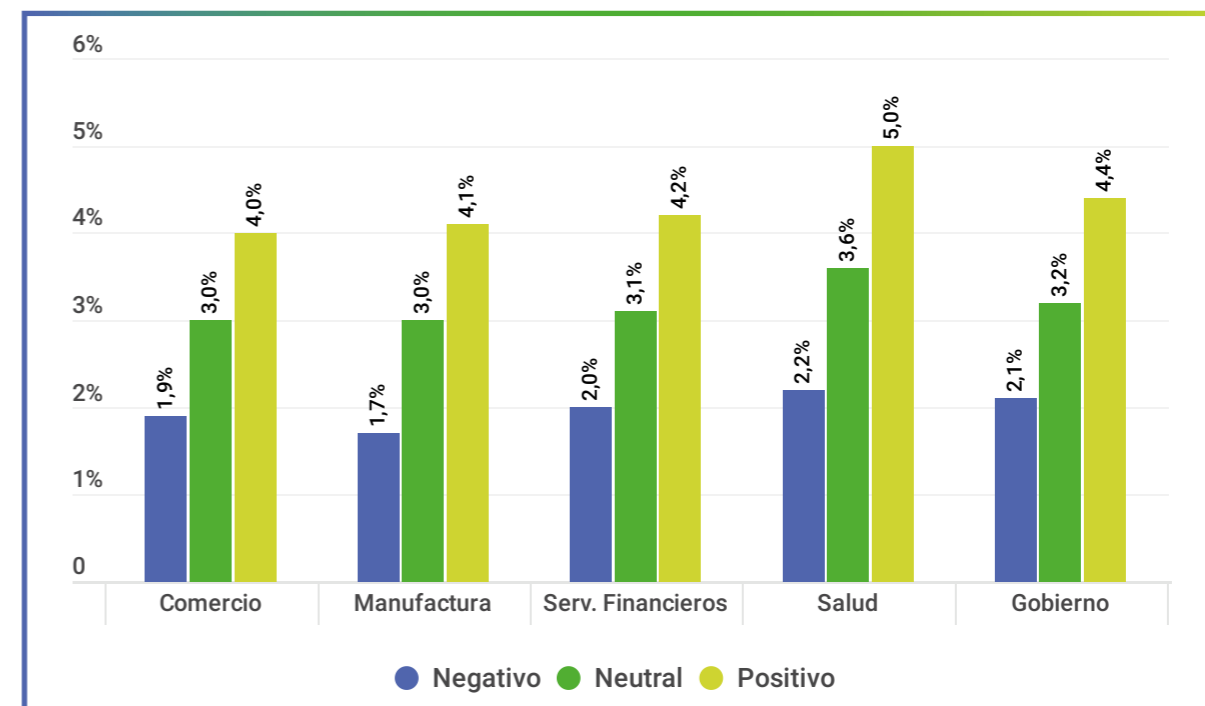


Figura 9. Tasa de crecimiento del PIB sectorial por escenario

Fuente: elaboración propia

de la IA es potencialmente alto. Cualitativamente los resultados no difieren de aquellos que se aprecian a nivel agregado. A nivel sectorial, no se aprecian impactos diferenciales marcados de la absorción de la IA en los diferentes sectores. La tasa de crecimiento promedio resulta superior al 4% en el escenario positivo, entre 3% y 3,6% para el neutral y 1,7 y 2,2% para el escenario negativo.

Los resultados presentados en esta sección dejan dos mensajes centrales. El primero es que **la absorción de IA en América Latina como así también en Colombia puede ser un factor de aceleración del crecimiento económico muy importante**. Nuestro modelo sugiere que de romper con la tendencia histórica y acelerar la tasa de adopción de tecnologías asociadas a la IA, el ritmo de crecimiento económico podría acelerarse en cerca de un punto porcentual por año durante la próxima década. Esto involucraría una mejora en el bienestar de la población muy marcada.

El segundo es que **esta aceleración del creci-**

**miento no sería el resultado de la expansión de un sector o pequeño puñado de sectores de alta tecnología sino que sería un fenómeno de carácter general en la economía.** Se trata, como dijimos antes, de una tecnología que cambia todo, y en todos los sectores se generan oportunidades de expansión sostenida.

La heterogeneidad al interior de los sectores responde a las oportunidades de implementación de IA aún no explotadas allí. La incorporación de la IA en aquellas actividades donde se encuentran menos difundidas estas tecnologías generan ganancias de productividad, tanto por la ganancia de eficiencia en tareas rutinarias como por la liberación de tiempo para la realización de tareas cognitivas. Es en estas donde las máquinas pueden complementarse a las personas y generar sinergias que derivan en ulteriores ganancias de productividad. Los ejemplos presentados al inicio de esta sección ilustran de forma manifiesta la existencia de estas interacciones mutuamente ventajosas entre IA y humanos.

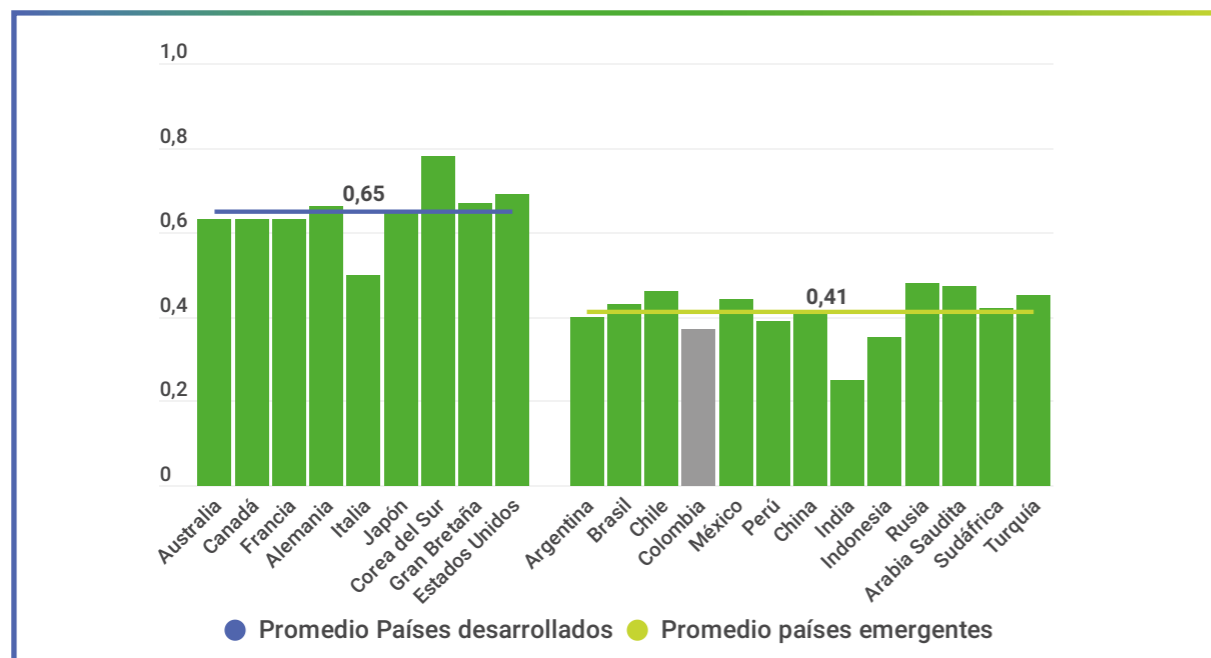
<sup>1</sup> Los detalles del modelo sectorial, la estimación de los parámetros relevantes y las fuentes de datos empleadas también se detallan en la parte 5 del apéndice.

## 4. ¿Qué se necesita para aprovechar la oportunidad de la IA?

La potencialidad de IA como fuente de innovación y crecimiento para América Latina aparenta ser muy importante y no se circunscribe a un conjunto acotado de sectores específicos. Los resultados apuntan, sin embargo, a que el *status quo* no es una opción viable si se quiere aprovechar esta ventana de oportunidad. El cambio tecnológico no es automático: requiere contar a tiempo con empresas dinámicas que puedan absorber las tecnologías asociadas con IA y con una fuerza de trabajo que posea las habilidades, capacidades y conocimientos compatibles y complementarios a esas tecnologías. ¿Qué hacer para entrar en este círculo virtuoso de empresas dinámicas que absorban rápidamente las nuevas tecnologías y trabajadores que adquieran las habilidades que complementan y potencian a esas tecnologías?

Los siguientes lineamientos de política pública potencian las chances de avanzar en una trayectoria de alta adopción de tecnologías asociadas a IA y, así, acelerar el crecimiento económico de LATAM.

**El primer lineamiento general se refiere al ritmo del cambio tecnológico.** Es necesario implementar estrategias de desarrollo productivo asociadas a una adopción más rápida y generalizada de las tecnologías vinculadas a la IA y la Cuarta Revolución Industrial. En los países latinoamericanos existen sectores que se encuentran cerca de la frontera tecnológica global pero el panorama general es de una baja capacidad de absorción de los últimos avances digitales. De hecho, como muestra la **Figura 10**, el índice de



**Figura 10. Índice de Adopción Digital (2016)**

Fuente: Banco Mundial (2016)

Nota: el Índice de Adopción Digital (IAD) para empresas es el promedio simple de cuatro indicadores normalizados: el porcentaje de empresas con sitios web, la cantidad de servidores seguros, la velocidad de descarga y la cobertura 3G en el país.

adopción digital compilado por el Banco Mundial para empresas indica que la penetración de las tecnologías digitales en los diferentes países de la región –Colombia incluida– es significativamente inferior a la observada en los países que lideran la transformación digital, como Japón, Alemania y Estados Unidos.

¿Qué políticas pueden facilitar la adopción de IA? Si bien hay mucho que es desconocido sobre los alcances del cambio tecnológico actual, si es posible aprender de lo que otros países están haciendo para adoptarlo y adaptarlo a sus propias necesidades. Tomando como punto de partida las recomendaciones de la *National Academy of Science and Engineering* (ACATECH), el gobierno alemán inició su programa de "Industria 4.0" en 2013, y luego fue seguido por buena parte de los países más dinámicos del mundo: el plan "China 2025" en el gigante asiático, el de "Advanced Manufacturing" en Estados Unidos, la "Nouvelle France Industrielle" en Francia, la "Smart Industry" en Suecia, entre otras iniciativas.

¿De qué se tratan esos planes de política industrial 4.0? Un rasgo común es el objetivo de reorganizar la estructura industrial para moverse hacia esquemas más integrados, flexibles, conectados y colaborativos. Para ello un punto crucial es la inversión en innovaciones asociadas a la creación y adaptación de tecnologías digitales críticas para la reconversión del sistema productivo (*big data analytics*, robótica avanzada, manufactura aditiva, IIoT, etc.). Un segundo rasgo es el objetivo primario de aumentar la competitividad y así potenciar el perfil exportador de cada economía. Una tercera característica común es el foco en los impactos en el mercado de trabajo, y la idea de que la acumulación de capital humano tiene que avanzar en paralelo a la acumulación del capital intangible asociado a IA y otras tecnologías 4.0. Un último punto se refiere a la necesidad de actualizar la provisión de bienes públicos poniendo el foco en la infraestructura digital.

**El segundo lineamiento** —que implica un desafío aún mayor para América Latina— **se refiere a la inversión en capital humano.** Buena parte de las tareas que realizan actualmente los trabaja-

dores podrán en un futuro cercano ser realizadas por máquinas y algoritmos. Otras, en cambio, serán altamente demandadas porque complementarán a la IA y permitirán su expansión. Aunque existe mucha incertidumbre con respecto a cómo serán los trabajos del futuro, hay tres cualidades serán clave: 1) percepción y manipulación en contextos complejos, 2) creatividad y 3) inteligencia social (Frey & Osborne, 2017). Algunos empleos emblemáticos con este tipo de características son, por ejemplo, las ocupaciones relacionadas con la educación y la salud o la psicología, y la dirección y coordinación de personas. Por el contrario, aquellas ocupaciones menos densas en estas cualidades, que probablemente requieran un esfuerzo de readaptación de habilidades, incluyen a capturistas de datos, vendedores por teléfono u operadores de máquinas en diversos sectores.

¿Qué implica esto para los mercados de trabajo? Para contestar esta pregunta, seguimos la literatura convencional y estimamos la probabilidad de automatización de las ocupaciones actuales del mercado de trabajo latinoamericano usando datos de Argentina, Chile, Brasil, México y Perú. Este indicador ofrece una pauta del esfuerzo de readaptación de las habilidades de los trabajadores en tanto indica en qué medida disponen de las cualidades vinculadas a las nuevas tecnologías mencionadas en el párrafo anterior.

La **Tabla 1** y **2** enumeran las diez ocupaciones más y menos susceptibles de ser automatizadas en la región.

La clasificación de puestos de trabajo más y menos susceptibles de ser automatizados (**Tabla 1** y **2**) se basa en el influyente trabajo de Frey & Osborne (2017), el cual estima las probabilidades de automatización para el mercado de trabajo estadounidense. Tomando en cuenta que las nuevas tecnologías suelen aplicarse con rezago en países en desarrollo como los latinoamericanos, se puede inferir que la probabilidad de automatización de los empleos latinoamericanos y la consecuente necesidad de readaptación de sus trabajadores es bastante menor, al menos en el corto y mediano plazo.

<b>Empleados contables y encargados del registro de materiales</b>
<b>Oficinistas</b>
<b>Ensambladores</b>
<b>Otro personal de apoyo administrativo</b>
<b>Ayudantes de preparación de alimentos</b>
<b>Operadores de instalaciones fijas y máquinas</b>
<b>Recolectores de desechos y otras ocupaciones elementales</b>
<b>Vendedores</b>
<b>Peones de la minería, la construcción, la industria manufacturera y el transporte</b>
<b>Trabajadores forestales calificados, pescadores y cazadores</b>

**Tabla 1. Las 10 ocupaciones más susceptibles de ser automatizadas en América Latina**

Fuente: Elaboración propia en base a Frey y Osborne (2017) y las encuestas de hogares de Argentina, Brasil, Chile, México y Perú.

Sin embargo, esa conclusión implicaría esencialmente desestimar la posibilidad que se dé un caso de rápida adopción de tecnologías asociadas a IA en LATAM, como postula el escenario positivo de nuestro ejercicio. En otras palabras, en el caso de que la trayectoria de adopción de tecnología continúe siendo baja como en el pasado —tal como asume el escenario neutral y, peor aún, el escenario negativo— las probabilidades de automatización que enfrentarán los empleos serían mucho más bajas que las que enfrentarán trabajadores en actividades similares en países desarrollados de rápida adopción tecnológica. Si, por el contrario, los países de América Latina lograran promover una rápida adopción de IA y otras tecnologías vinculadas, las probabilidades de automatización no serían muy distintas de las de los países avanzados y, consecuentemente, el esfuerzo de re-adaptación de la mano de obra sería considerablemente mayor.

El escenario positivo es una trayectoria posible para LATAM. Sin embargo, las implicancias de ese caso sobre el mercado de trabajo son fuer-

tes a tal punto que la escasez de mano de obra con las habilidades complementarias a IA y otras tecnologías asociadas podría ser un obstáculo para el crecimiento de las economías latinoamericanas. Nuestra estimación de los trabajadores de América Latina cuyas ocupaciones son intensivas en los tres grupos de habilidades complementarios con las nuevas tecnologías —percepción y manipulación en contextos complejos, creatividad e inteligencia social— asciende a unos 32,3 millones sobre un total de 192 millones. Es decir, alrededor del 18% del total de ocupados<sup>2</sup>; un 82% restante requeriría, en un escenario de rápida adopción de tecnología, inversión en capital humano en menor o mayor medida para readecuar sus habilidades. El porcentaje de trabajadores que hoy cuenta con habilidades complementarias a IA y otras tecnologías es bajo si se lo contrasta con el registrado en Estados Unidos, en donde llega al 33%.

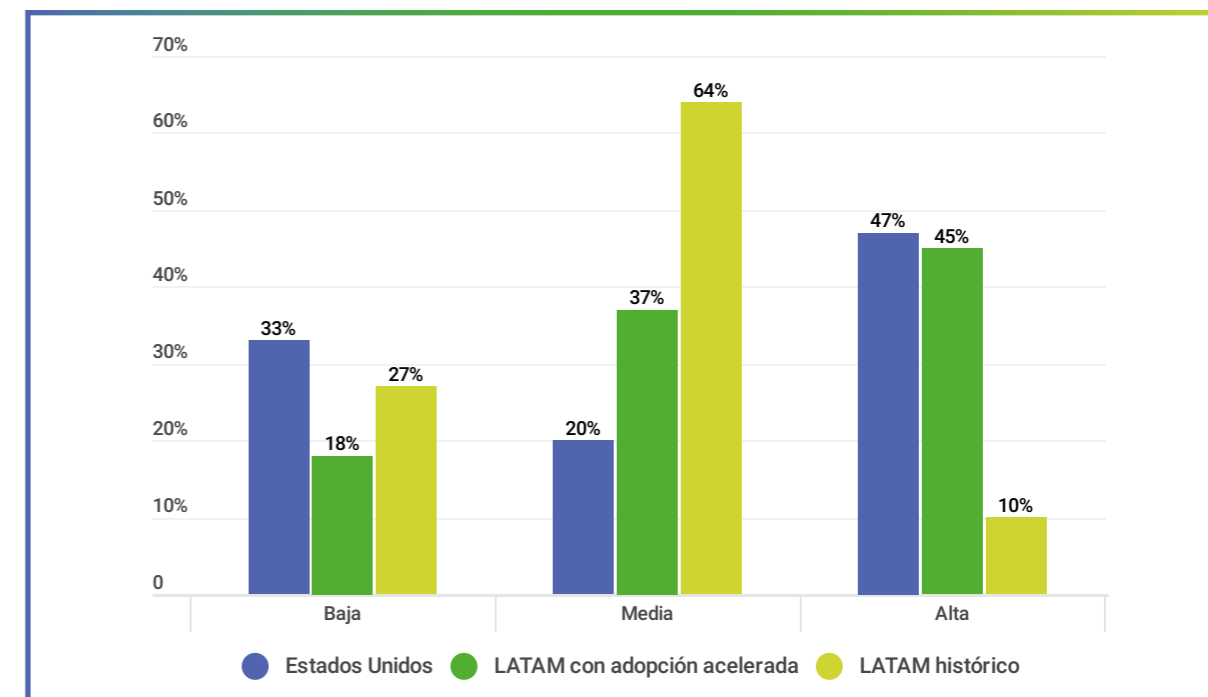
La **Figura 11** muestra la estructura del mercado de trabajo latinoamericano dividido en tres grupos según la probabilidad de automatización de

<sup>2</sup> Este porcentaje se calcula sobre el total del empleo sobre el cual tenemos información suficiente para calcular las probabilidades de automatización correspondientes.

<b>Profesionales de nivel medio de servicios jurídicos, sociales, culturales y afines</b>
<b>Directores administradores y comerciales</b>
<b>Gerentes de hoteles, restaurantes, comercios y otros servicios</b>
<b>Profesionales en derecho, en ciencias sociales y culturales</b>
<b>Directores y gerentes de producción y operaciones</b>
<b>Directores ejecutivos, personal directivo de la administración pública y miembros del poder ejecutivo y de los cuerpos legislativos</b>
<b>Profesionales de tecnología de la información y las comunicaciones</b>
<b>Profesionales de las ciencias y de la ingeniería</b>
<b>Profesionales de la enseñanza</b>
<b>Profesionales de la salud</b>

**Tabla 2. Las 10 ocupaciones menos susceptibles de ser automatizadas en América Latina**

Fuente: Elaboración propia en base a Frey y Osborne (2017) y las encuestas de hogares de Argentina, Brasil, Chile, México y Perú.



**Figura 11. Estructura del mercado de trabajo por probabilidad de automatización.**

Fuente: Elaboración propia en base a Frey y Osborne (2017), encuestas de hogares de Argentina, Brasil, Chile, México y Perú y la base de datos CHAT.

Nota: el escenario histórico supone que la adopción y difusión de IA reproduce el patrón registrado en los cinco países con las TIC en la década de los 1990 mientras que el escenario de adopción acelerada supone un ritmo de cambio técnico similar la de los Estados Unidos.

los empleos —alta, media y baja— de acuerdo la metodología de Frey & Osborne (2017).

Naturalmente, existen contrastes importantes según el grado de susceptibilidad de automatización de las tareas y ocupaciones no sólo entre países sino también entre sectores. Un ejemplo elocuente es el de la construcción, donde se emplea aproximadamente un décimo del total de la población económicamente activa (PEA) de cada país tomado en consideración. De las ocupaciones abarcadas, más de dos tercios se encuentran en la zona de probabilidad alta de automatización en cada caso. Otra rama que también constituye una gran fuente de empleo en todo LATAM es el sector de comercio, tanto mayorista como minorista, rubro que emplea en cada país alrededor del 20% del total de la PEA. En esta última rama en promedio un 65% de los puestos de trabajo están en alto riesgo de ser automatizados. No obstante, existen discrepancias entre países: Perú es el país con menor porcentaje del empleo en dicha rama con alto riesgo de ser automatizado poco más de 2,2 millones de puestos de trabajo, que representan 50% del empleo en comercio-; en el otro extremo se encuentra Argentina, con un 84% de las tareas del rubro comercial en alto riesgo de automatización, que pone en jaque a un sector que explica el 18% del total del empleo.

Las ocupaciones asociadas a las ramas de enseñanza y salud y servicios sociales son casos muy diferentes. En esos empleos las tareas resultan poco automatizables y la capacidad de adaptación a circunstancias difíciles de anticipar hace que estas ocupaciones sean las que muestren menor riesgo de automatización en todos los países en cuestión. Las discrepancias a nivel país para LATAM son pequeñas, con porcentajes del empleo en alto riesgo en los sectores de enseñanza y salud cercanos al 10% y el 20% respectivamente.

En general, las ocupaciones que involucran tareas que demandan mayor calificación y educación tienden a ser menos susceptibles a ser automatizadas. En cambio, aquellas ocupaciones densas en tareas que requieren menor calificación y que son más rutinarias —como las de ensambladores y montadores de partes u operadores de máqui-

nas— tienen más chances de ser automatizadas. Es importante notar, sin embargo, que la alta probabilidad de automatización de un empleo no significa que éste vaya a desaparecer. Significa simplemente que muchas de las tareas involucradas en él pueden ser fácilmente automatizables con las nuevas tecnologías. Esto implica que la adopción de IA podría liberar tiempo y capacidad del trabajador/a para realizar otras tareas que con la tecnología existente no tiene tiempo para hacer. Aquí radica, en esencia, la capacidad de aumentar la productividad de esta nueva tecnología vía el "efecto automatización" descrita en la sección anterior.

Un ejemplo puede servir para ilustrar este punto. Con la aparición y difusión de los cajeros automáticos un amplio conjunto de tareas que se realizan en los bancos fueron automatizadas. Sin embargo, el número de empleados bancarios no sólo no se redujo sino que tendió a aumentar. ¿Por qué? Primero, porque se redujo fuertemente el costo de apertura de nuevas sucursales. Segundo, y más importante, porque los empleados pudieron liberarse de tareas básicas puramente transaccionales y ocuparse de otras mucho más lucrativas, como la atención personalizada al cliente, la venta telefónica de productos y la administración de cartera, entre otros.

Si bien esta observación debería disminuir la ansiedad y temor al desempleo con el que se asocia IA y otras nuevas tecnologías vinculadas, no reduce la importancia de readaptar las habilidades de la fuerza de trabajo de países como los de la región. La posibilidad de que una firma incorpore nueva tecnología a su organización y así muchas tareas puedan ser automatizadas depende en gran medida de que los empleados tengan ciertas habilidades para desplegar en el tiempo que se le libera por las tareas que deja de realizar. En otras palabras, depende de que el/la trabajador/a tenga habilidades complementarias a la IA. Como muestra la **Figura 11**, sólo el 18% de la fuerza de trabajo de LATAM cuenta hoy en día con estas capacidades.

¿Cómo facilitar que las habilidades de los trabajadores se actualicen y puedan así complementarse con las nuevas tecnologías? Readaptar las

habilidades de los trabajadores actuales y futuros es complejo ya que involucra a varias instancias de formación, desde la primera infancia hasta el aprendizaje en la empresa. En la primera infancia se fijan las bases de la estructura cerebral, de manera que constituye un período clave para desarrollar habilidades cognitivas y socio-emocionales básicas. Además, si bien se ha avanzado en una mayor cobertura, es necesario mejorar la calidad de la educación básica para poder incorporar habilidades y conocimientos generales más avanzados. La educación terciaria y universitaria también debe ser reformada para facilitar el pasaje al mundo del trabajo. Deben adicionalmente potenciarse los mecanismos de educación y formación técnica y profesional (TVET, por sus siglas en inglés), intensificando la interacción entre el mundo del empleo y el mundo empresarial. Por último, los sistemas de capacitación y entrenamiento dentro de las empresas deben comenzar a contemplar actualizaciones periódicas debido a la velocidad del cambio tecnológico.

Estas observaciones no deberían tampoco inducir la autocomplacencia. Es muy probable que la IA y otras nuevas tecnologías conduzcan a un grado de automatización de tareas que haga desaparecer algunas ocupaciones. Esta es una lección de las revoluciones industriales pre-

vias: un conjunto de actividades y profesiones seguramente irá desapareciendo en un futuro no muy lejano. En estos casos, será necesario que los trabajadores sustituidos por las nuevas tecnologías se reubiquen en otras ocupaciones, bien sea dentro de la misma rama de actividad o bien en una diferente. Prepararse para estos casos requiere también de una poderosa estrategia de inversión de capital humano para poder readaptar segmentos de la fuerza de trabajo de cada uno de los países a empleos para los que hoy no están listos.

Habrán también casos de trabajadores en empleos que desaparecerán y que no tendrán un tránsito fácil hacia nuevos empleos. No es descabellado concebir que muchos trabajadores pasarán períodos largos de desempleo o, incluso que algunos — probablemente los segmentos de mayor edad— no logren reinsertarse eficazmente al mercado de trabajo. Esto llama a que el gobierno piense en el desarrollo de una estrategia de protección social para quienes se vean negativamente afectados en su posibilidad de reinsertación en el mercado de trabajo. Las propuestas de política de protección social que se están debatiendo hoy incluyen desde la extensión de los seguros de desempleo hasta la implementación de un ingreso básico universal.

## 5. Reflexiones finales

La inteligencia artificial liderará el proceso de transformación tecnológica que se inicia con la cuarta revolución industrial. La experiencia de las revoluciones industriales previas sugiere que las firmas y los países que más rápido adoptaron las nuevas tecnologías fueron quienes mejor aprovecharon las oportunidades de crecimiento. La cuarta revolución industrial abre una ventana para que los países en desarrollo aceleren su crecimiento y reduzcan las brechas de ingresos con los países más avanzados.

Colombia tiene una oportunidad por delante. El ejercicio de crecimiento económico que presentamos en este documento sugiere que la tasa de crecimiento promedio de Colombia podría acelerarse en cerca de un punto porcentual por año durante la próxima década si se logra romper con su trayectoria pasada y acelerar el ritmo de adopción de tecnologías asociadas a IA. La aceleración del crecimiento no se restringiría a un pequeño puñado de sectores de alta tecnología sino que sería un fenómeno de carácter general.

Una rápida e intensa adopción de la IA y otras nuevas tecnologías asociadas no ocurrirá espontáneamente, sino que requerirá de acciones de política pública concretas. En este sentido, hay tres líneas de acción indispensables. Primero, una estrategia de política industrial 4.0 que estimule y facilite una rápida y masiva adopción de IA y otras tecnologías por parte de las firmas. Muchos países han empezado a trabajar activamente en esta dirección; Colombia no debería quedar atrás en este proceso. La segunda, tal vez más importante, se refiere a la estrategia de educación e inversión en capital humano que prepare a los futuros trabajadores y facilite la readaptación de los existentes para que puedan complementarse de forma virtuosa con IA y otras nuevas tecnologías. También aquí existen enfrenta no pocos desafíos. La tercera apunta a desarrollar una estrategia que brinde una adecuada protección social a quienes enfrenten mayor dificultad de reinserción en el mercado de trabajo.

Estas tres líneas de acción de política pública son indispensables para aspirar a una trayectoria de rápida adopción tecnológica y crecimiento de la productividad. Estos son lineamientos que requieren de políticas específicas que no han sido abordadas aquí. Es importante tener presente también que estos lineamientos constituyen condiciones necesarias pero no suficientes para un proceso de crecimiento virtuoso. Cambiar la tendencia de crecimiento de Colombia exige también corregir factores que han obturado la posibilidad de un crecimiento sólido y sostenido históricamente. Estos incluyen desde la volatilidad macroeconómica y la fuerte desigualdad de oportunidades e ingresos hasta diversos elementos que debilitan el sistema político, la calidad institucional y la cohesión social.

Los desafíos son, sin duda, grandes, pero las oportunidades son mucho mayores.

## Anexo 1. Metodología

### 1. Modelo agregado

En este documento aplicamos un modelo de crecimiento aumentado por inteligencia artificial (IA) desarrollado por Philippe Aghion de la Universidad de Harvard, Charles Jones de la Universidad de Stanford y Benjamin Jones de la Universidad de Northwestern. El modelo se presenta en un Working Paper de NBER llamado "Artificial Intelligence and Economic Growth", que será parte del libro "The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda" de Ajay K. Agrawal, Joshua Gans y Avi Goldfarb, a publicarse en mayo de 2019.

El modelo captura el efecto de IA en el crecimiento a través de dos canales: la automatización y la innovación. Para ello se presenta la producción del bien final  $Y_t$  como una combinación de bienes intermedios o tareas  $X_i$  con una elasticidad de sustitución menor a uno:

$$(1) Y_t = A_t \left( \int_0^1 X_{it}^p \right)^{1/p} \text{ donde } p < 0$$

La tecnología crece de acuerdo a la ecuación  $A_t = A_0 e^{gt}$ . Los bienes que son automatizados se producen únicamente con capital mientras que aquellos que aún no la han sido, se producen sólo con trabajo.

$$(2) X_{it} = \begin{cases} L_{it} & \text{si no fue automatizado} \\ K_{it} & \text{si fue automatizado} \end{cases}$$

El modelo se completa de manera convencional, especificando la demanda de bienes y determinando las leyes de movimiento de los factores productivos:

$$(3) Y_t = C_t + I_t$$

$$(4) K_t = I_t - \delta K_t$$

$$(5) K_t = \int_0^1 K_{it} di$$

$$(6) L_t = \int_0^1 L_{it} di$$

A nuestros fines, la variable clave del modelo es

$\beta_t$ , que es la fracción de bienes que fueron automatizados hasta el período  $t$ .  $\beta_t$  es entonces nuestra medida de los avances de las nuevas tecnologías en el proceso productivo y cuál rápido o lento cambiará dependerá del grado de adopción y difusión de las mismas. Después de un poco de álgebra, la función de producción se simplifica a:

$$(7) Y_t = A_t (\beta^{1-p} K_t^p + (1-\beta)^{1-p} L_t^p)^{1/p}$$

### 2. Escenarios

Dado que el grado de penetración de IA y su efecto sobre la economía es incierto, en el documento planteamos diferentes escenarios respecto a los dos nexos entre IA y crecimiento: la trayectoria de la automatización y la evolución de la innovación (representada por  $A_t$ ). Por un lado, IA permite que el capital y el trabajo se utilicen de manera más eficiente, donde  $\beta_t$  juega un rol central. Por otro lado, al difundirse la IA en la economía se promueven innovaciones y cambios que van más allá del reemplazo de un factor productivo por otro.

Más específicamente, tenemos tres escenarios:

#### Escenario negativo

En este caso la adopción y difusión de IA es nula y por lo tanto no afecta al crecimiento del PBI a través de ninguno de los dos canales mencionados anteriormente. De esta manera, la fracción de bienes automatizada se mantiene constante (y en niveles de 2015).

En cuanto a la productividad (o PTF), se calculó tanto la media como el desvío estándar de las variaciones de para cada país desde 1950 hasta la actualidad. Con ello, se construyó un estadístico  $t$  para testear la significatividad del crecimiento promedio de la productividad en cada uno. De este procedimiento resultó que salvo en el caso de Argentina y México, la PTF no había crecido de

manera significativa en ningún país en el período considerado. Por tanto, se supuso crecimiento 0 para la PTF en aquellos países donde la media no resultó significativamente distinta de cero.

### Escenario neutral

En este caso la evolución de la PTF es la misma que en el escenario pesimista pero se asume un ritmo de automatización/adopción de IA que imita la dinámica observada para cada país durante las TIC (1994-2014). Más específicamente, utilizamos datos sobre suscripciones a banda ancha fija (por cada 100 personas), personal que usan internet (como porcentaje de la población) y suscripciones a telefonía celular móvil (por cada 100 personas). Ajustamos una función logística para replicar en forma estilizada los movimientos de estos indicadores para encontrar una trayectoria de adopción de tecnologías agregada para cada país.

### Escenario positivo

Este escenario se distingue no sólo por una adopción acelerada de IA sino también por un cambio profundo en la forma en que se produce. Así, el crecimiento de la PTF se acelera respecto al caso histórico, siendo un 50% mayor al experimentado por los países asiáticos durante la revolución de las TIC. Además, el ritmo de adopción y difusión de IA se supone más acelerado que en el escenario neutral (50% mayor que en el caso de las TIC)<sup>3</sup>.

## 3. Calibración de parámetros y valores iniciales

El modelo requiere de la calibración de ciertos parámetros y del cálculo de algunos valores iniciales para cada país.

- $Y_0$ : Dado que iniciamos las proyecciones del modelo en 2015, el valor inicial del PBI corresponde a la proyección del dato de 2014 de Penn World Table 9.0 (PWT) usando el creci-

miento del PBI de la base de TED.

- $K_0$ : Resulta de multiplicar  $Y_0$  por la relación  $K/Y$  que estima PWT en 2014.

- $L_0$ : Resulta de multiplicar  $Y_0$  por la relación  $L/Y$  que estima PWT en 2014.

- $A_0$ : Es tal que dados los niveles de  $K_0$  y  $L_0$  la primera proyección del modelo (para 2015) sea igual a  $Y_0$ .

- $\beta_0$  y  $\beta$ : Se eligieron valores de  $\beta$  y  $\beta$  tales que el modelo ajustara las variaciones de PBI entre 2004 y 2014 para cada país. El procedimiento consistió en la minimización de las diferencias al cuadrado sujeto a las siguientes restricciones en los parámetros:

$$\bullet \beta \in (0, a_k)$$

$$\bullet \beta < 0$$

Donde  $a_k$  es el share de capital. Esta restricción fue impuesta de manera tal que los shares de capital y trabajo que reproducía el modelo fueran consistentes con los observados en los datos.

- $\delta$ : Es el promedio de la tasa de depreciación calculada por PWT entre 2005 y 2014 para cada país.

## 4. Proyección de las variables

Los supuestos respecto a las variables del modelo son los siguientes:

- El movimiento de la PTF y  $\beta_t$  varía de acuerdo al escenario.
- El movimiento de  $L$  se asumió igual a las proyecciones de crecimiento de la población de entre 15 y 64 años de la ONU.

- El movimiento de capital sigue la ecuación (4) y para ello debimos asumir una función de inversión que tiene la siguiente forma:

$$(8) K_t = v Y_t - \delta K_t$$

Donde  $v$  es el promedio de la razón  $I/Y$  de PWT desde 2005 hasta 2014 para cada país.

## 5. Modelo Sectorial

Para modelizar la dinámica sectorial se utilizó el mismo modelo que en el agregado. Los sectores seleccionados de los países para los cuales se realiza el ejercicio agregado son: (I) Industria Manufacturera, (II) Comercio, (III) Servicios Financieros, (IV) Administración Gubernamental y (V) Salud.

Debido a la escasez de datos históricos de las variables del modelo desagregadas por rama de actividad, el método utilizado para el cálculo de algunos valores iniciales  $\beta_0$  y  $\beta$  difiere de lo realizado en el modelo agregado.

- $Y_0$ : El valor inicial del PBI sectorial corresponde a la proyección del dato de 2014 de Penn World Table 9.0 (PWT) usando el crecimiento del PBI de la base de TED, ajustado por la par-

ticipación del producto de cada sector sobre el producto total de la economía en 2015.

- $K_0/Y_0$ : Resulta de re-escalar la relación  $K/Y$  agregada de acuerdo al cociente entre el share del capital sectorial y el share del capital promedio de los sectores seleccionados.

- $L_0$ : corresponde a la proyección del dato para 2014 de Penn World Table 9.0 (PWT) usando el crecimiento del empleo de la base de TED, ajustado por el porcentaje que representa el empleo de cada rama de actividad sobre el total del empleo en 2015.

- $A_0$ : Es tal que dados los niveles de  $K_0$  y  $L_0$  la primera proyección del modelo (para 2015) sea igual a  $Y_0$ .

- $\beta_0$  y  $\beta$  fueron calculados para cada sector siguiendo la misma metodología que para el agregado. En este caso, la diferencia es que el período seleccionado para realizar el ajuste comprende 2007-2014.

El análisis de escenarios fue realizado en forma similar al modelo agregado, teniendo en cuenta idénticos supuestos en cuanto la evolución de la TFP y las distintas variables ( $\beta$ ,  $K$  y  $L$ ).

<sup>3</sup> Como límite al ritmo de adopción, para aquellos países que tuvieron una mejor performance durante la revolución recién mencionada se les impone un límite equivalente al 80% de la adopción realizada por los países asiáticos en el mismo período.

## Anexo 2. Ejemplos de adopción de IA en diferentes sectores productivos

### Servicios Financieros

•**Banco de Crédito del Perú:** Desarrolló Arturito BCP, un BOT que opera con inteligencia artificial (IA) vía Facebook Messenger que sirve para personalizar la interacción entre el cliente y la compañía. Gracias a la tecnología Watson, desarrollada por IBM, Arturito posee habilidades cognitivas que le permiten no sólo responder las preguntas para las que ha sido capacitado, sino que, las comprende y busca automáticamente una respuesta. De esta forma, los clientes pueden realizar consultas y resolver dudas sobre cuentas y tarjetas sin tener que ser asistidos por personal del banco en una sucursal o a través de una llamada telefónica.

Los usuarios de Facebook y Messenger pueden acceder fácilmente al *bot* a través de la fan page de Arturito BCP (cuenta verificada por Facebook), así como de la aplicación Messenger, y obtener respuestas personalizadas sobre saldos, tarjetas de crédito, cotizaciones, localización de sucursales BCP cercanas, así como también realizar transferencias y pagar servicios. Arturito espera tener 500 mil usuarios hacia fines de este 2018.

Teniendo en cuenta el tipo de datos que manejan, son muy cautelosos con los temas de ciberseguridad, privacidad de los datos y mitigación de riesgos que puedan ocurrir. Para garantizar la seguridad de la información de los usuarios, primero, el bot le pedirá al usuario validar sus datos. Luego, se deberá colocar el número de documento de identidad para recibir un código de verificación vía mensaje de texto o correo electrónico. Una vez obtenido el código, se deberá insertar en la conversación para poder realizar las consultas.

•**Alicia (Banco Ciudad BSAS):** Similar a Arturito, está siendo desarrollado por la entidad porteña y se espera salga a la luz a fines de 2018. El Banco Ciudad, en el marco de un plan estratégico para acompañar los procesos de transformación

digital, ha decidido incorporar un chatbot de inteligencia artificial de Microsoft para mejorar la experiencia de todos sus clientes.

Se trata de un asistente virtual que simula conversaciones reales, que permitirá a los clientes hacer consultas y obtener información de las dudas más frecuentes de los usuarios -como las asociadas a préstamos, cuentas, trámites, etc.- dialogando en un entorno dinámico, alineado a la experiencia digital que el usuario atraviesa en sus conversaciones habituales.

La implementación de la solución de *Intelligence Chat Bot Services* basado en Microsoft Cognitive Services junto con la base de conocimientos de Microsoft Dynamics 365 le da acceso al Banco Ciudad a nuevos servicios cognitivos, basados en un conjunto de algoritmos que ayudan a procesar datos automáticamente para crear aplicaciones más personalizadas, que tienen por función entender las necesidades de los usuarios mediante la utilización de métodos naturales de comunicación.

A través de la implementación de esta nueva tecnología se busca responder de manera más ágil e inmediata a las demandas y consultas que surgen de las más de dos millones de visitas mensuales que recibe la web oficial del banco, mejorando la experiencia del usuario. De esta manera, el Banco tendrá un nuevo canal de contacto que brindará respuestas acertadas todos los días, durante las 24hs.

### Salud

• **Unima (México):** Desarrollaron una herramienta de diagnóstico oportuno que, a través de un dispositivo fácil de usar, así como un *smartphone*, permitirá saber si una persona está infectada de alguna enfermedad como la tuberculosis o la influenza.

Esta empresa mexicana de biotecnología recibió el reconocimiento como la mejor empresa en el área de Salud del Singularity University<sup>4</sup> Global Summit 2017 realizado en la ciudad de San Francisco, California. Este premio reconoce el potencial de la empresa para impactar la salud de más de mil millones de personas en el mundo en los siguientes 5 años.

Unima desarrolló una tecnología para diagnosticar enfermedades infecciosas de manera rápida y a bajo costo, que pueden aplicar médicos, enfermeras o trabajadores sociales directamente en un punto de atención y obtener una respuesta en menos de 15 minutos, sin necesidad de ningún equipo de laboratorio, y con costos hasta de \$1 USD por prueba.

Los emprendedores crearon un dispositivo hecho totalmente de papel que contiene una proteína animal sobre el cual se coloca una muestra de sangre del paciente. Después de 15 minutos, se le toma una fotografía desde una aplicación descargada en un *smartphone* que en menos de 10 segundos hace un comparativo para detectar si la imagen corresponde al diagnóstico de alguna enfermedad infecciosa causada por un virus o una bacteria, como Malaria, Fiebre Amarilla, Tuberculosis o VIH, entre otras. Una vez con el resultado, se puede canalizar a la persona para que reciba la atención indicada.

El objetivo de Unima es solucionar el problema de un acceso oportuno y digno a más de 3 mil millones de personas que viven en países en vías de desarrollo o en lugares de recursos limitados en países desarrollados.

### Manufactura

•**Fábrica de pastas Bettini (Argentina):** Bettini es una industria alimenticia de Córdoba que produce pastas tipo italianas, frescas y secas. A pesar de ser una empresa familiar de 80 años de tradición, se animaron a dar un salto tecnológico y sumarse a esta nueva ola de innovación, incorporando BigData y machine learning a sus procesos de producción. En la planta de pro-

ducción, las computadoras determinan la composición exacta de líquido y sólido para la masa, sensores inteligentes calculan el gramaje de cada envase, sistemas de filtrado de aire logran la presión exacta entre el interior y el exterior, con robótica y aire comprimido se traslada la harina de los silos a las máquinas mezcladoras, y a través de sistemas de big data se coordina y mantiene interconectado todo el proceso. A su vez, desde la empresa se fomentó la formación de los operarios de planta para que pudieran adaptar sus habilidades a las nuevas máquinas y tecnologías incorporadas.

Con estas innovaciones en los procesos la firma logró reducir el costo laboral en el producto y aumentar la productividad: con la misma cantidad de empleados lograron triplicar la producción. A su vez, la expansión de la producción les permitió expandir sus mercados: actualmente la empresa exporta sus productos a Colombia, Perú, Panamá, Angola, Chile y Paraguay.

### Agricultura

• **S4Agtech (Argentina):** La compañía argentina S4 desarrolló el primer índice del mundo para cubrir los efectos de la sequía y el riesgo, basándose en información satelital y ofreciendo soluciones más que importantes a los agricultores y otros actores propios del sector para que puedan enfrentar los riesgos climáticos. Tratándose de un proyecto único a nivel mundial, obtienen la información a partir de una constelación de satélites de la NASA que miden los signos vitales del planeta, y a partir de herramientas de *Machine Learning* de Microsoft Azure desarrollan algoritmos que les permiten reconocer el tipo de



cultivo, las condiciones climáticas que serán enfrentadas en el futuro y sus consecuencias sobre la producción.

De esta forma, la tecnología S4 permite a los productores aprovechar la disponibilidad de información anticipada de manera detallada y precisa de forma tal que puedan utilizar los recursos de forma más eficiente, incrementando los rindes, teniendo un mejor manejo del riesgo y mayor previsión a futuro.

### Comercio

• **Nubimetrics (Argentina)** - Todos los países donde está MercadoLibre / **Real Trends (Argentina - Brasil - Mexico)**: Son desarrolladores de herramientas utilizadas para el análisis y gestión de ventas del conjunto de comerciantes que desarrollan actividades en la plataforma de Mercado Libre. Estas herramientas aplican tecnologías de *machine learning* y *BigData* a partir de las cuales recopilan y analizan datos de búsquedas y ofertas dentro de la plataforma, ofreciendo un estudio del mercado y los competidores y detectando nuevas oportunidades de negocios.

Estas herramientas son utilizadas por los vendedores para detectar nichos de mercados con demanda insatisfecha, conocer los nuevos productos y promociones ofrecidas por la competencia, definir el precio que maximiza sus beneficios, y obtener un análisis periódico y exhaustivo del mercado.

Entre los principales usuarios de estas tecnologías se encuentran grandes marcas del tipo Adidas, Walmart, Frávega, Puma, Samsung, etc.

### Gobierno

• El Ministerio Público Fiscal de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires utiliza **Prometea**, es un sistema de inteligencia artificial construido para resolver expedientes judiciales de menor complejidad. A partir de un conjunto de datos que surgen de los expedientes y sus resoluciones, genera respuestas automáticas considerando los patrones que encuentra entre el nuevo expediente y los contenidos en su base de datos. La tarea del algoritmo es predecir sobre expedientes simples donde la justicia tiene jurisprudencia, permitiendo que las personas puedan destinar mayor tiempo a los casos más complejos, con el consecuente mejor uso de los recursos. El programa es capaz de resolver 1.000 expedientes en 7 días; esa misma tarea, con la utilización del método tradicional demandaría 83 jornadas de trabajo. Actualmente este sistema responde al 52% de los expedientes de baja complejidad que ingresan al tribunal, con una tasa de acierto del 96%.

El programa trabaja con la información que surge del sitio web de consulta de expedientes, donde la justicia vuelca la información de las causas. En la fiscalía el procedimiento parte de un expediente a dictaminar que no ha sido analizado por ninguna persona, se carga el número de expediente y el sistema busca la carátula en la página del Tribunal Superior de Justicia de CABA, lo identifica y lee entre más de 300.000 documentos anteriores vinculados al expediente. Una vez hecho esto, relaciona los patrones con los dictámenes ya firmados en la fiscalía, analiza más de 1400 dictámenes previos, y en 15 segundos predice cuál es la solución que debe adoptarse. Por último, le trae en pantalla al usuario el modelo que debería utilizar, y le hace unas breves preguntas para completar datos y adecuarlo al caso en concreto.

## Acerca de los autores

### Ramiro Albrieu

Investigador principal del programa de Desarrollo Económico de CIPPEC. Licenciado en Economía (Universidad de Buenos Aires, Argentina). Es investigador asociado en CEDES, investigador externo en el Instituto CEQ, profesor asociado de macroeconomía en la Universidad de Buenos Aires, y Director del programa de Recursos Naturales y Desarrollo en Red Sudamericana de Economía Aplicada.

### Martín Rapetti

Director del programa de Desarrollo Económico de CIPPEC. Licenciado en Economía (Universidad de Buenos Aires, Argentina) y doctor en Economía (Universidad de Massachusetts, Amherst). Profesor adjunto de Macroeconomía II y director de la Maestría en Economía en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires.

### Caterina Brest López

Coordinadora del programa de Desarrollo Económico de CIPPEC. Licenciada en Economía (Universidad Torcuato Di Tella, Argentina). Magíster en Economía (Barcelona Graduate School of Economics y Universitat Pompeu Fabra, España). Profesora asociada de Microeconomía I, en la Licenciatura de Economía de la Universidad Torcuato Di Tella. Trabajó en el Ministerio de Producción tanto en temas de empleo sectorial e informalidad como estimaciones de seguimiento macroeconómico.

### Patricio Larroulet

Analista del programa de Desarrollo Económico de CIPPEC. Licenciado en Economía (Universidad de Buenos Aires). Ayudante de cátedra de Microeconomía II, Macroeconomía I y II, y Matemática para Economistas en la Licenciatura en Economía de la Universidad de Buenos Aires.

### Alejo Sorrentino

Analista del programa de Desarrollo Económico de CIPPEC. Licenciado en Economía (Universidad de Buenos Aires, Argentina). Ayudante de cátedra de Macroeconomía II en la Licenciatura en Economía de la Universidad de Buenos Aires.

**Para citar este documento:** Albrieu, R., Rapetti, M., Brest López, C., Larroulet, P. y Sorrentino, A. (octubre de 2018). Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Colombia. *Inteligencia Artificial y Crecimiento Económico en América Latina*. Buenos Aires: CIPPEC

Las publicaciones de CIPPEC son gratuitas y se pueden descargar en **[www.cippec.org](http://www.cippec.org)**. CIPPEC alienta el uso y difusión de sus producciones sin fines comerciales.

Para uso online agradecemos usar el hipervínculo al documento original en la web de CIPPEC.

La opinión de los autores no refleja necesariamente la posición institucional de CIPPEC en el tema analizado.



@CIPPEC



/cippec.org



/fcippec



[www.cippec.org](http://www.cippec.org)



/CIPPEC

**CIPPEC** (Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento) es una organización independiente, apartidaria y sin fines de lucro que trabaja por un Estado justo, democrático y eficiente que mejore la vida de las personas. Para ello concentra sus esfuerzos en analizar y promover políticas públicas que fomenten la equidad y el crecimiento en la Argentina. Su desafío es traducir en acciones concretas las mejores ideas que surjan en las áreas de **Desarrollo Social, Desarrollo Económico, y Estado y Gobierno**, a través de los programas de Educación, Protección Social, Instituciones Políticas, Gestión Pública, Monitoreo y Evaluación, Desarrollo Económico y Ciudades.