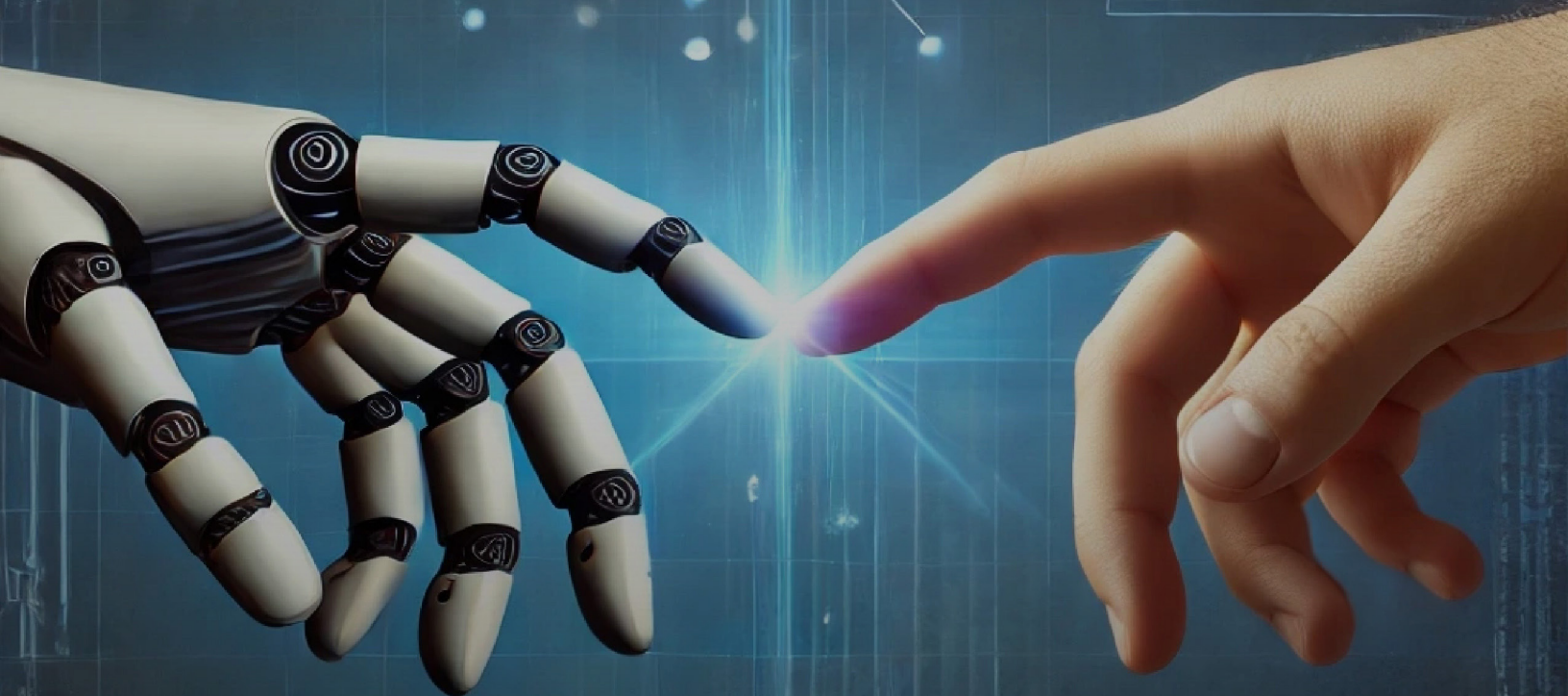


# INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Nuevas oportunidades para el crecimiento  
Una perspectiva analítica de interés para la  
Política Fiscal



**COSEFIN**

Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de  
Centroamérica, Panamá y República Dominicana

Secretaría  
Ejecutiva



**SICA**

Sistema de la Integración  
Centroamericana



**Publicado por:**

Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (SECOSEFIN)

✉ [secretaria.ejecutiva@cosefin.org](mailto:secretaria.ejecutiva@cosefin.org)

**Versión:**

Julio 2024

**Diseño:**

Comunicaciones SECOSEFIN

**Créditos fotográficos:**

Iconografía: Envato Elements: spacepixelcreative, Wencory. Imagen de portada: Creada con Dall-E.

**Autor:**

**Alfredo Ibrahim Flores Sarria**

Secretario Ejecutivo del COSEFIN

**Revisado y editado por:**

Equipo técnico de SECOSEFIN

**Autorizado por:**

Alfredo I. Flores Sarria – Secretario Ejecutivo del COSEFIN

El autor agradece los valiosos aportes del equipo de investigadores de la SECOSEFIN: Kenny Mendoza, Alejandro Andrade y Fernando Arévalo

# ÍNDICE

<i>Resumen Ejecutivo</i> .....	5
Introducción .....	6
1. Marco teórico .....	7
2. Antecedentes .....	10
3. El modelo analítico .....	11
4. Conclusiones .....	21
5. Recomendaciones .....	22
6. Referencias .....	23



## **INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

Nuevas oportunidades para el crecimiento  
Una perspectiva analítica de interés para la  
Política Fiscal



# RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio presenta una aproximación teórica y simulaciones numéricas para entender cómo la incorporación de la IA en una función de producción neoclásica afecta los equilibrios de largo plazo y la dinámica de ajuste hacia dichos equilibrios. Se utiliza un modelo de Solow (1956) que incorpora progreso tecnológico con neutralidad a la Harrod, el cual incrementa la eficiencia del trabajo sin modificar la relación entre el trabajo y el capital. El documento concluye con una síntesis de los principales hallazgos de las simulaciones numéricas, proponiendo recomendaciones para mejorar la productividad de la fuerza laboral en las economías de la región, considerando los retos a largo plazo. La investigación destaca la importancia de entender cómo la adopción de la IA puede influir en el crecimiento económico y sugiere que, con una correcta implementación, la IA tiene el potencial de mejorar las políticas públicas y aumentar la productividad.

**Palabras clave:**

Inteligencia Artificial (IA), Crecimiento Económico, Modelo de Solow y Políticas Públicas



# INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más globalizado e interconectado, la inteligencia artificial (IA) está transformando y redefiniendo lo que es posible en múltiples campos: desde la automatización de tareas rutinarias hasta la creación artística.

Sin embargo, se ponen de manifiesto las siguientes interrogantes: ¿cómo afecta realmente la IA al crecimiento económico a largo plazo?; ¿estamos en el umbral de una nueva era de prosperidad, o la IA eleva solamente los niveles de producción sin alterar las trayectorias de crecimiento subyacentes? Y finalmente, ¿tiene la IA el potencial para mejorar las políticas públicas?

En principio, es preciso destacar que la IA es parte integral de la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0); que es una revolución tecnológica caracterizada por la automatización y la robótica; la interconectividad; la computación en la nube y el Big Data; y la fabricación aditiva o impresión 3D.

Pese a dichas transformaciones, el impacto de la IA sobre el crecimiento económico sigue siendo un tema de debate; y es por tal razón que se presenta en esta investigación una aproximación teórica, con simulaciones numéricas, para comprender la manera en que la incorporación de la IA en una función de producción neoclásica afecta los equilibrios de largo plazo y la dinámica de ajuste hacia dichos equilibrios.

El marco analítico que se utiliza en este trabajo es un modelo de Solow (1956) que incorpora progreso tecnológico con neutralidad a la Harrod. El progreso tecnológico Harrod neutral, aumenta la productividad del trabajo a un ritmo constante, incrementando de esta manera la eficiencia del trabajo sin modificar la relación entre el factor trabajo y el factor capital.

En este sentido, este documento se divide en los siguientes apartados: un marco teórico que introduce las bases conceptuales de la IA, incluyendo definiciones, tipos y aplicaciones relevantes en el contexto económico. El apartado de antecedentes, que presenta una revisión de literatura y hace un análisis breve de los estudios previos sobre el impacto de la IA sobre el crecimiento económico, identificando principales hallazgos.

En el apartado del modelo analítico, se presenta el marco teórico general en el que se basa la investigación, en el cual se detalla el modelo de Solow en tiempo discreto que incorpora progreso tecnológico con neutralidad a la Harrod y que incluye un parámetro, que se denotará con la letra griega  $\psi$ , y que representa la adopción de IA por parte de la economía.

En el análisis se asignan valores numéricos a los parámetros del modelo y se calculan los valores en estado estacionario y las trayectorias en el tiempo de las variables en su forma intensiva, per cápita y agregadas. Primero se calcula el caso en que  $\psi=0$  y luego el caso de un valor hipotético de  $\psi=0.25$  y se comparan los valores en estado estacionario de las variables en su forma intensiva. Además, se realiza un análisis de sensibilidad para el parámetro  $\psi$  en su rango de acotamiento, es decir,  $0 \leq \psi \leq 1$  con el objetivo de ilustrar cómo varían los equilibrios de largo plazo para las variables: stock de capital, producto y consumo en su forma intensiva.

Finalmente, en el cuarto y quinto apartado de este trabajo, se esboza una síntesis de los principales hallazgos de estos ejercicios de simulación numérica, y se plantean unas recomendaciones, desde el punto de vista de la situación que presentan las economías de la región y los retos que tienen en el largo plazo para aumentar la productividad de la fuerza laboral.



# 1. MARCO TEÓRICO

La Inteligencia Artificial (denominada en adelante IA por sus siglas) moderna comenzó a ser un concepto muy utilizado a mediados del siglo XX, específicamente en 1950 a partir de un artículo seminal de Alan Turing denominado "Computing Machinery and Intelligence"; en dicho artículo se propuso el Test de Turing<sup>1</sup> como un criterio para determinar si una máquina puede exhibir comportamiento inteligente indistinguible del ser humano.

La IA nació oficialmente como una disciplina académica formal en 1956, durante la Conferencia de Dartmouth, organizada por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon. En dicha conferencia, se discutieron las ideas y técnicas fundamentales que impulsarían el campo en las décadas siguientes.

Durante las décadas de 1960 y 1970, los investigadores desarrollaron los primeros programas de IA, como el General Problem Solver (GPS) y el programa de ajedrez de Samuel. Sin embargo, a pesar del entusiasmo inicial, la IA enfrentó numerosos desafíos, como la falta de poder computacional y la dificultad para manejar la complejidad del lenguaje natural y la percepción visual.

Las décadas de 1970 y 1980 fueron un período caracterizado por la disminución del interés y la financiación de la IA. Lo cual se debió fundamentalmente a expectativas no cumplidas y a los limitados avances prácticos en comparación con las promesas iniciales. A pesar de estos desafíos, se realizaron importantes investigaciones en áreas como las redes neuronales y la lógica difusa.

No obstante, es a partir de la década de 1990 cuando la IA resurge gracias a los avances en el poder de procesamiento, el desarrollo de algoritmos más eficientes y la disponibilidad de grandes volúmenes de datos. Eventos como la victoria de Deep Blue<sup>2</sup> sobre el campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov en 1997 y los logros de Watson<sup>3</sup> de IBM en el programa de televisión Jeopardy en 2011 marcaron hitos significativos.

En la actualidad, la IA se ha integrado profundamente en la vida cotidiana y en diversos sectores de actividad económica. Tecnologías como el aprendizaje automático (machine learning), el aprendizaje profundo (deep learning) y los sistemas basados en el conocimiento están revolucionando campos como la medicina, las finanzas, la manufactura y el entretenimiento.

De acuerdo con un Informe de McKinsey de octubre de 2020, la pandemia causada por el COVID-19 hizo que la adopción de tecnologías digitales avanzara vertiginosamente en cuestión de meses. Estas tecnologías fueron visualizadas por empresas y gobiernos como necesarias para la continuidad y la resiliencia de sus operaciones, para navegar en medio de la incertidumbre de la crisis que representó en esos momentos la pandemia y como una forma de prepararse para futuros eventos disruptivos.

La IA está transformando diversas industrias, desde la manufactura hasta los servicios financieros, prometiendo mejoras en eficiencia y productividad. En el sector empresarial privado, la IA generativa<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Esta prueba se lleva a cabo de esta manera: en principio, la prueba involucra a tres participantes (un interrogador humano, un humano y una máquina). El interrogador se comunica con los otros dos participantes a través de una interfaz de texto que no revela la identidad de cada uno; el objetivo de la prueba es determinar cuál de los dos participantes es la máquina y cuál es el humano formulando una serie de preguntas. Entonces, si el interrogador no puede distinguir de manera fiable entre la máquina y el humano basándose en sus respuestas, se puede afirmar que la máquina ha pasado el Test de Turing.

<sup>2</sup> Deep Blue fue una supercomputadora desarrollada por IBM para jugar al ajedrez.

<sup>3</sup> Watson es un sistema desarrollado por IBM y basado en IA capaz de responder preguntas formuladas en lenguaje natural.

<sup>4</sup> La IA generativa es un subcampo de la IA que se enfoca en la capacidad de las máquinas para crear contenido nuevo y original. A diferencia de la IA tradicional que suelen realizar tareas de clasificación, predicción o reconocimiento; la IA generativa puede producir texto, imágenes, música, código y otros tipos de contenidos a partir de patrones aprendidos de datos existentes.

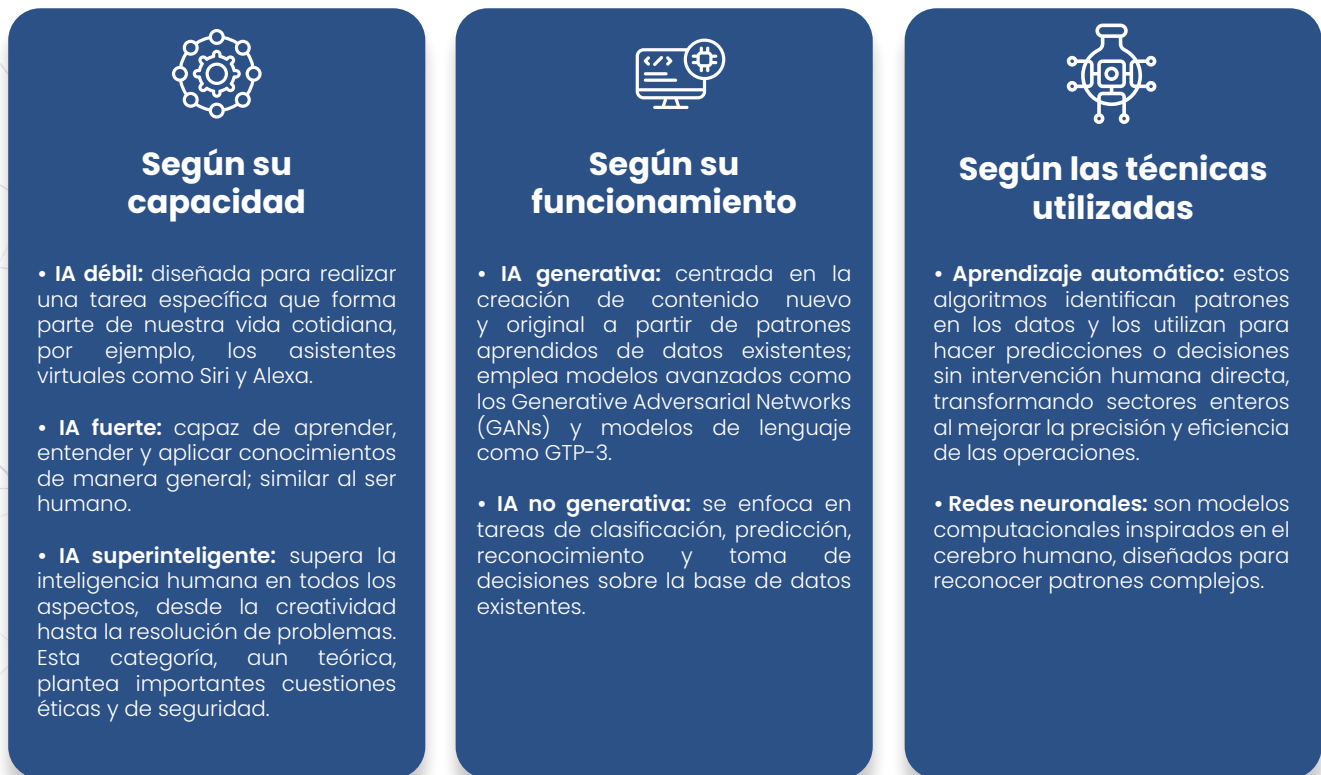
tiene aplicaciones prácticas en áreas como la atención al cliente, la generación de contenidos publicitarios y la personalización de productos y; en el sector público, se está comenzando a utilizar IA para optimizar la prestación de servicios, mejorar la eficiencia gubernamental y formular políticas más informadas para mejorar la calidad de vida de las personas.

En tal sentido, empresas y gobiernos en diferentes países y a diferentes velocidades, están invirtiendo en IA para mejorar la eficiencia, innovar y abordar problemas complejos.

De acuerdo con McCarthy (2007), la IA es la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes, en especial programas de computadoras inteligentes. Otra definición, obtenida de Russell & Norvig (2010) que plantean que la IA es el estudio de agentes que reciben percepciones del entorno y realizan acciones.

Según ambas definiciones y para efectos de esta investigación, se puede concluir que la IA es la capacidad de las máquinas para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas y la comprensión del lenguaje.

**Figura 1: Tipos de IA según su funcionalidad y capacidad**



Fuente: Elaboración propia

La IA no solo constituye una tecnología emergente, sino que es una fuerza transformadora en la economía global. Sus aplicaciones abarcan múltiples sectores, cada uno beneficiándose de manera única de sus capacidades; según lo expuesto en el World Economic Forum (2020) y en McKinsey & Company (2024) se puede distinguir la siguiente lista que no es exhaustiva, pero que trata de resumir lo vasto de las aplicaciones de la IA:

**Figura 2: Aplicaciones de la IA en sectores de la economía**



Fuente: Elaboración propia



## 2. ANTECEDENTES

En el ámbito de las ciencias económicas, se encuentra escasa literatura que incorpore el análisis de la IA, sin embargo, se encuentran algunos trabajos que se han centrado básicamente en el abordaje desde dos perspectivas: en la relación e impacto que la IA tiene sobre el empleo, específicamente en el debate constante de si las nuevas tecnologías serán o no capaces de sustituir trabajadores; y en la relación de la IA con el crecimiento económico. La mayoría de estos estudios han sido publicados, con el fin de proporcionar una cuantificación inmediata, y mantienen el enfoque basado en las tareas (o, en inglés, task-based approach), a continuación se presenta una recopilación de los principales aportes en estas áreas.

### La IA y el empleo

Frey y Osborne (2013) realizaron un estudio que analiza la susceptibilidad que tienen las ocupaciones a ser reemplazadas como consecuencia de los avances tecnológicos. El estudio es referente en este campo, debido a la metodología utilizada que permite distinguir las tareas y habilidades, de las ocupaciones. El estudio concluyó que, en las próximas dos décadas, el 47% de los empleos de Estados Unidos estarán en un alto riesgo de ser automatizados.

Por otro lado, Arntz, Gregory y Zierahn (2016); y Nedelkoska y Quintini (2018) aplicaron esta metodología para el caso de los países de la OCDE, concluyendo que la susceptibilidad de automatización de una ocupación no es homogénea, puesto que las tareas de una ocupación varían por país e inclusive por sector económico, grado de especialidad de la tarea y educación del ocupado. Es decir, los trabajadores no se ven afectados de la misma forma por la automatización.

De esta manera, los hallazgos indican que los trabajos de baja destreza técnica, aquellos cuyos procesos son repetitivos y que se concentran principalmente en sectores como el agrícola y el manufacturero presentan mayor grado de exposición ante la IA. Del mismo modo, se evidencia una relación inversa entre nivel educativo y la susceptibilidad al reemplazo: entre menor sea la educación de la persona, mayor será la posibilidad de ser reemplazada (Arntz, Gregory y Zierahn (2016); Nedelkoska y Quintini (2018)).

Para la región Latinoamericana los estudios y análisis al respecto son pocos, sin embargo, destaca la investigación de Benhamou (2022), en donde se expuso que el impacto que tendrá la IA en el empleo dependerá del marco que se cree en los países de la región para su implantación. En el estudio se plantea, que la IA exige un marco moral, ético y técnico que permita un desarrollo y adopción pleno, así mismo, apuestan a los microdatos como fuente de información principal, ya que desde ellos se puede observar toda la complejidad vinculada a las transformaciones laborales provocadas por la IA.

### La IA y el Crecimiento

La inteligencia artificial se ha convertido en un tema central en la literatura económica durante los últimos años, siendo analizada como determinante del crecimiento económico en conjunto con los factores tradicionales <sup>5</sup>.

Aghion, Jones y Jones, (2017), con el objetivo de indagar las potenciales implicaciones de la inteligencia artificial en el proceso de crecimiento económico, proponen un modelo de automatización de Zeira, el cual toma en consideración “la enfermedad de los costes” de Baumol.

5 Trabajo (L), capital (K) y progreso técnico (A), de cuya combinación se generan bienes y servicios.

A partir de los principios de la enfermedad de costes, se evidencia una disminución de los sectores productivos del PIB vinculados a la industria o la agricultura al transitar a procesos de automatización; sin embargo, se concluyó que dicha reducción se equilibra con el incremento de los componentes de la economía que se automatiza con el tiempo.

Por su parte, Albrieu et al (2018) llevan a cabo tres escenarios alternativos simulados que proyectan el impacto y difusión de la inteligencia artificial en la economía argentina y sus sectores productivos para un periodo de 10 años, que son: i) un escenario de nula adopción de IA, ii) un escenario neutral, en el cual Argentina adopta la IA al mismo ritmo en que adoptó las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) durante la Tercera Revolución Industrial y iii) un escenario positivo, con una adopción de la IA superior al de las TIC.

El escenario positivo sugiere una aceleración del crecimiento potencial anual del PIB en más de un punto porcentual, siempre y cuando el país suramericano logre incrementar la tasa de adopción de tecnologías asociadas a la IA, y cuya adopción tenga el alcance de la economía en su conjunto, y no concentrándose en un conjunto específico de sectores productivos.

Desde la perspectiva de los modelos endógenos, Lu (2021) amplió el modelo clásico de Lucas para incluir la habilidad de auto acumulación de la IA mediante el aprendizaje de la maquinaria o mediante la asignación de recursos para el desarrollo de la IA. De esta manera, la IA es tratada como insumo que puede ser aplicado directamente a la producción de bienes, obteniéndose así, un modelo de crecimiento endógeno de 3 sectores. La autora, a su vez, realiza un análisis estático comparativo para el corto y largo plazo en el que se analiza cuál es el efecto que tiene el desarrollo y acumulación de la IA en el crecimiento económico y el bienestar (Lu, 2021); mientras que el estudio de Gries y Naudé (2020) propone un modelo de crecimiento endógeno en el que es posible incorporar a la IA en el proceso productivo; la diferenciación de tareas; la sustitución entre el factor trabajo e IA; y la introducción de restricciones de la demanda agregada.

Los estudios considerados en este apartado utilizan únicamente el enfoque temporal continuo<sup>6</sup> para el análisis del crecimiento, hasta llegar a artificios matemáticos que suponen un obstáculo a la practicidad. Por lo tanto, y para fines de colocar este tema en el ámbito del diseño de mejores políticas económicas y en específico de la política fiscal, se advierte la necesidad de proponer un modelo sencillo y práctico que demuestre las bondades de la implementación de la IA en el crecimiento económico, que es el objetivo principal de la investigación que se presenta en este documento.



## 3. EL MODELO ANALÍTICO

Para efectos de esta investigación, el marco analítico se constituye del modelo de crecimiento propuesto por Robert Solow (1956), el cual fue adaptado para incorporar el impacto de la inteligencia artificial en el crecimiento económico.

### Sobre el modelo

El modelo de Solow, de enfoque neoclásico, explica el crecimiento económico de un país basándose en su nivel de ahorro e inversión, junto a la contribución de diversos factores, y bajo el contexto de un conjunto de supuestos (Mankiw N. G., 2010), los cuales se explican a continuación.

<sup>6</sup> La temporalidad abarcada por un modelo puede ser: i) continua, cuando no se mide en momentos concretos, sino que se evalúa como un flujo que no está dividido, y ii) discreta, donde las variables pueden medirse unidad por unidad (Westreicher, 2020).

## i. Supuestos del modelo

### a. Economía cerrada

El ingreso nacional equivale a la producción total de bienes y servicios dentro un país ( $Y_t$ ) siendo demandada por las familias, que consumen bienes y servicios finales (representado por  $C_t$ ) y por las empresas, que llevan a cabo inversiones para adquisición de bienes de capital (representado por  $I_t$ ). Esta relación se puede representar como:

$$Y_t = C_t + I_t \quad [1]$$

### b. Identidad Ahorro - Inversión

Al restar del ingreso nacional el nivel de consumo de las familias, se obtiene el nivel de ahorro: el nivel de ingreso que no se destina al consumo, sino más bien a la inversión en bienes de capital de las empresas (Sala-i-Martin, 2002):

$$Y_t - C_t = C_t + I_t - C_t$$

De esta manera, se adopta el supuesto que el ahorro de la economía equivale al nivel de inversión:

$$S_t = I_t \quad [2]$$

### c. Mercados competitivos dentro de la economía

Los mercados operan bajo competencia perfecta, maximizando beneficios y utilidad. Existe un equilibrio continuo entre los mercados de bienes, servicios y trabajo, con pleno empleo de los factores productivos.

### d. Función de producción neoclásica

La producción se determina combinando trabajo ( $L$ ), capital ( $K$ ) y progreso tecnológico ( $A$ ) (Barro & Sala-i-Martin, 2004) y que se puede representar como:

$$Y_t = f(A, K_{t-1}, L_{t-1}) \quad [3]$$

Una función de producción neoclásica presenta las siguientes características:

- **Rendimientos constantes de escala:** donde un incremento en los factores generará un incremento equivalente en el nivel de producción (Mankiw G., 2009).
- **Rendimientos decrecientes en el uso de los factores,** dado que el incremento de los factores generará mayor nivel de producción, pero cada vez a escala menor (Sala-i-Martin, 2002).

## ii. Componentes del modelo

### Capital:

Definido como la cantidad de maquinaria, equipo, herramientas e infraestructura necesarias para realizar productos finales, y que una empresa adquiere de otra empresa, representado como  $K_t$ . Sin embargo, el capital se deprecia con el tiempo (a una tasa  $\delta$ ) y requiere inversión continua.

De esta manera, la inversión realizada por las empresas se constituye del capital depreciado y la nueva incorporación de capital:

$$I_t = \delta K_{t-1} + \Delta K_t \quad [4]$$

#### La fuerza laboral:

Representa la cantidad de trabajadores dentro de la economía, y son quienes hacen uso de los recursos de capital para la fabricación de productos finales (Mankiw N. G., 2010).

La variación en la fuerza laboral ( $L_t$ ) sigue el crecimiento demográfico ( $n$ ), dado al supuesto de pleno empleo en el mercado de factores.

#### El progreso tecnológico:

Representada como  $A$ , es el conjunto de técnicas y conocimientos que mejoran la eficiencia de los factores trabajo y capital, mejorando el nivel de producción.

El progreso tecnológico se puede enfocar acorde al impacto que este tiene en los factores de producción, identificando tres casos (Rendón-Nebel, 2009):

**Neutralidad de Harrod**, donde la tecnología mejora exclusivamente la eficiencia del trabajo.

**Neutralidad de Solow**, caso en el que  $A_t$  mejora la productividad del capital.

**Neutralidad de Hicks**, en la cual, la tecnología mejora tanto al factor trabajo como al capital.

#### iii. Planteamiento matemático del modelo:

La función de producción neoclásica que sustenta el modelo de Solow es del tipo Cobb-Douglas:

$$Y_t = A \cdot K_{t-1}^\alpha \cdot L_{t-1}^{1-\alpha} \quad [5]$$

Donde  $\alpha$  representa la participación del factor capital en la producción, y  $1-\alpha$ , la participación del factor trabajo. El valor de  $\alpha$  puede tomar valores entre 0 y 1.

La producción total  $Y_t$  por tanto, equivale a la combinación de los factores, así como al consumo de las familias e inversión de las empresas:

$$Y_t = A \cdot K_{t-1}^\alpha \cdot L_{t-1}^{(1-\alpha)} = C_t + I_t \quad [6]$$

Sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (2) se obtiene otra manera de analizar la identidad Ahorro – Inversión:

$$sY_t = I_t$$

donde el ahorro se representará como una proporción de  $Y_t$ , con una tasa exógena constante  $s$ .

$$sY_t = s \left[ A \cdot K_{t-1}^\alpha \cdot L_{t-1}^{(1-\alpha)} \right]$$

$$s \left[ A \cdot K_{t-1}^\alpha \cdot L_{t-1}^{(1-\alpha)} \right] = I_t \quad [7]$$

Al despejar la incorporación de nuevo capital de la ecuación, se aprecia que la acumulación de capital depende del nivel de inversión y el capital existente depreciado (Mankiw N. G., 2010):

$$K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1} \quad [8]$$

Tomando en consideración que el nivel total de ahorro se destina para la inversión, se puede incorporar (7) en (8):

$$K_t - (1 - \delta)K_{t-1} = s[A \cdot K_{t-1}^\alpha \cdot L_{t-1}^{(1-\alpha)}] \quad [9]$$

Al dividir las dos partes de la ecuación entre la cantidad de trabajadores ( $L_{t-1}$ ) se obtiene la siguiente función en términos per cápita:

$$k_t = \frac{sAk_{t-1}^\alpha + (1 - \delta)k_{t-1}}{1 + n} \quad [10]$$

Restando ambos lados  $k_{t-1}$ :

$$\Delta k_t = \frac{sAk_{t-1}^\alpha - (\delta + n)k_{t-1}}{1 + n} \quad [11]$$

Donde se interpreta que la nueva cantidad de capital por trabajador ( $\Delta k_t$ ) depende positivamente del nivel de ahorro ( $sAk_t^\alpha$ ) y negativamente del nivel de depreciación del capital y el crecimiento poblacional ( $\delta + n$ ) (Romer, 2019).

De este modo, se observan dos escenarios:

En el primero, cuando, el nivel del ahorro es superior al capital antiguo que se deprecia, es decir,  $sAk_t^\alpha > (n + \delta)k_{t-1}$  da paso a mayor acumulación de capital per cápita, equivalente a mayor crecimiento económico.

Cuando  $sAk_t^\alpha = (n + \delta)k_{t-1}$  el nivel de ahorro igual a cero no permite más incorporación de nuevo capital y, por tanto, la economía entra en **estado estacionario**.

## Integración de la IA al modelo de Solow

Dado que el modelo de crecimiento de Solow (1956) es el marco analítico fundamental en la teoría del crecimiento económico, en esta investigación se ha formulado el modelo de Solow en tiempo discreto y con progreso tecnológico con neutralidad a la Harrod para ampliar la función de producción, e incorporar el parámetro  $\psi$  que denota el supuesto de adopción de la IA en una economía hipotética.

$$Y_t = K_{t-1}^\alpha \{A_{t-1}(1 + \psi)L_{t-1}\}^{1-\alpha}; 0 \leq \psi \leq 1 \quad [12]$$

$$L_t = (1 + n)L_{t-1} \quad [13]$$

$$A_t = (1 + x)A_{t-1} \quad [14]$$

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + sY_t \quad [15]$$

Donde  $Y$  es el producto total,  $K$  es el stock de capital,  $L$  es la fuerza laboral,  $A$  es la tecnología,  $\alpha$  es la elasticidad del producto respecto al capital,  $\delta$  es la tasa de depreciación,  $s$  es la tasa de ahorro de la economía,  $n$  es la tasa de crecimiento de la fuerza laboral,  $x$  es la tasa de crecimiento de la tecnología.

Es conveniente, expresar el modelo de Solow en su forma intensiva; para ello se utiliza la expresión [15] que es la ley de movimiento del capital:

$$\begin{aligned}
 sK_{t-1}^\alpha \{A_{t-1}(1+\psi)L_{t-1}\}^{1-\alpha} &= K_t - (1-\delta)K_{t-1} \\
 sK_{t-1}^\alpha \{A_{t-1}(1+\psi)L_{t-1}\}^{1-\alpha-1} &= \frac{K_t}{A_t(1+\psi)L_t} \left( \frac{A_t(1+\psi)L_t}{A_{t-1}(1+\psi)L_{t-1}} \right) - (1-\delta) \frac{K_{t-1}}{A_{t-1}(1+\psi)L_{t-1}} \\
 s \left( \frac{K_{t-1}}{A_{t-1}L_{t-1}} \right)^\alpha \left( \frac{1}{1+\psi} \right)^\alpha &= \frac{K_t}{A_tL_t} \left( \frac{1}{1+\psi} \right) (1+x)(1+n) - (1-\delta) \frac{K_{t-1}}{A_{t-1}L_{t-1}} \left( \frac{1}{1+\psi} \right) \\
 s \frac{\widehat{k_{t-1}^\alpha}}{(1+\psi)^\alpha} &= \frac{\widehat{k}_t}{1+\psi} (1+x)(1+n) - (1-\delta) \frac{\widehat{k}_{t-1}}{1+\psi} \\
 s\widehat{k_{t-1}^\alpha} &= (1+\psi)^{\alpha-1} \widehat{k}_t (1+x)(1+n) - (1-\delta)(1+\psi)^{\alpha-1} \widehat{k}_{t-1}
 \end{aligned}$$

Por lo que la ley de movimiento del capital en su forma intensiva estaría dada por:

$$\widehat{k}_t = \frac{s\widehat{k_{t-1}^\alpha} + (1-\delta)(1+\psi)^{\alpha-1} \widehat{k}_{t-1}}{(1+\psi)^{\alpha-1}(1+x)(1+n)} \quad [16]$$

Con una tasa de crecimiento dada por:

$$\gamma_{\widehat{k},t} = \frac{s\widehat{k_{t-1}^{\alpha-1}} + (1-\delta)(1+\psi)^{\alpha-1}}{(1+\psi)^{\alpha-1}(1+x)(1+n)} - 1 \quad [17]$$

Es preciso tener en cuenta que  $\lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{\hat{k},t} \approx 0$ ; lo cual implica la existencia de un valor de estado estacionario para  $\hat{k}$  dado por:

$$\hat{k}_t = \widehat{k_{t-1}} = \hat{k}$$

$$\hat{k}(1 + \psi)^{\alpha-1}(1 + x)(1 + n) = s\widehat{k^\alpha} + (1 - \delta)(1 + \psi)^{\alpha-1}\hat{k}$$

$$\hat{k}(1 + \psi)^{\alpha-1}(1 + x)(1 + n) - (1 - \delta)(1 + \psi)^{\alpha-1}\hat{k} = s\widehat{k^\alpha}$$

$$\hat{k}(1 + \psi)^{\alpha-1}\{(1 + x)(1 + n) - (1 - \delta)\} = s\widehat{k^\alpha}$$

$$\widehat{k^{1-\alpha}} = \frac{s(1 + \psi)^{1-\alpha}}{(1 + x)(1 + n) - (1 - \delta)}$$

$$\hat{k}^* = \left\{ \frac{s(1 + \psi)^{1-\alpha}}{(1 + x)(1 + n) - (1 - \delta)} \right\}^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad [18]$$

A partir de la expresión [18] es posible obtener los estados estacionarios para el producto y el consumo en sus formas intensivas:

$$\widehat{y}^* = (\hat{k}^*)^\alpha \quad [19]$$

$$\widehat{c}^* = (1 - s)\widehat{y}^* \quad [20]$$

A partir de la ecuación [15] se expresarán las variables en términos per cápita:

$$sK_{t-1}^\alpha \{A_{t-1}(1 + \psi)\}^{1-\alpha} L_{t-1}^{1-\alpha-1} = \frac{K_t}{L_t} \left( \frac{L_t}{L_{t-1}} \right) - (1 - \delta) \frac{K_{t-1}}{L_{t-1}}$$

$$s \left( \frac{K_{t-1}}{L_{t-1}} \right)^\alpha \{A_{t-1}(1 + \psi)\}^{1-\alpha} = \frac{K_t}{L_t} (1 + n) - (1 - \delta) \frac{K_{t-1}}{L_{t-1}}$$

$$s k_{t-1}^\alpha \{A_{t-1}(1 + \psi)\}^{1-\alpha} = k_t (1 + n) - (1 - \delta) k_{t-1}$$

Donde la ley de movimiento del capital per cápita está dado por:

$$k_t = \frac{s k_{t-1}^\alpha \{A_{t-1}(1 + \psi)\}^{1-\alpha} + (1 - \delta) k_{t-1}}{1 + n} \quad [21]$$

Con una tasa de crecimiento dada por:

$$\gamma_{k,t} = \frac{sk_{t-1}^{\alpha-1} \{A_{t-1}(1+\psi)\}^{1-\alpha} - (\delta+n)}{1+n} \quad [22]$$

Debe tenerse en cuenta que  $\lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{k,t} \approx x$ ; es decir, el capital, el producto y el consumo per cápita crecen a la misma tasa que crece la tecnología.

A manera de resumen:

- La tasa de crecimiento de las variables en su forma intensiva converge a cero; es decir,  $\lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{\hat{k},t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{\hat{y},t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{\hat{c},t} \approx 0$ .
- Existe un estado estacionario para el stock de capital, el producto y el consumo en su forma intensiva.
- La tasa de crecimiento para las variables per cápita converge a la tasa de crecimiento de la tecnología; es decir,  $\lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{k,t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{y,t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \gamma_{c,t} \approx x$ .
- En cuanto a las variables agregadas, la tasa de crecimiento de la fuerza laboral es  $n$ ; y la tasa de crecimiento de las otras variables agregadas está dada por:  
 $\gamma_{K,t} = \lim_{t \rightarrow \infty} (1 + \gamma_{k,t})(1+n) - 1 \approx x + n$ ; por lo que  $\gamma_{K,t} = \gamma_{Y,t} = \gamma_{C,t}$

El parámetro  $\psi$  afecta directamente el nivel de capital, producto y consumo intensivos en estado estacionario; es decir, un mayor valor de  $\psi$  implica una mayor contribución de la IA y mayores valores de equilibrio de largo plazo. Sin embargo, no afecta la tasa de crecimiento a largo plazo de las variables per cápita ni de las variables agregadas.

Este modelo extendido de Solow con la incorporación de la IA bajo la neutralidad tecnológica de Harrod proporciona una visión teórica de cómo la IA puede elevar los niveles de producción y capital en una economía. Al incluir un parámetro  $\psi$  que mide la adopción de IA, se puede analizar su impacto en el equilibrio de largo plazo y la dinámica de ajuste hacia dicho equilibrio.

#### iv. Simulaciones numéricas

La IA ha emergido como un componente crucial en la dinámica económica moderna, prometiendo grandes transformaciones en la eficiencia y la productividad. Para tener un mejor entendimiento del impacto de la IA en una economía, es esencial incorporar este factor en el modelo abordado en el apartado precedente de este documento; razón por la cual, en este apartado realizaremos simulaciones numéricas para evaluar cómo la adopción de la IA, representada por el parámetro  $\psi$  afecta el estado estacionario de las variables en su forma intensiva en el modelo de Solow modificado que se describió.

Para llevar a cabo las simulaciones, asignaremos valores numéricos<sup>7</sup> a los parámetros clave y condiciones iniciales del modelo:

	Baseline	Escenario 1		
$\alpha$	0.5	0.5	$A(0)$	1.50
$\delta$	4.0%	4.0%	$L(0)$	1.00
$x$	1.5%	1.5%	$k(0)$	3.00
$n$	2.0%	2.0%	$\tilde{k}(0)$	2.00
$s$	15.0%	15.0%		
$\psi$	0.00	0.25		

Se simularán dos situaciones, una simulación de línea de base donde  $\psi=0$  y un escenario donde  $\psi=0.25$ ; lo cual conduce a los siguientes equilibrios de largo plazo para las variables en su forma intensiva, aplicando las fórmulas [18], [19] y [20]:

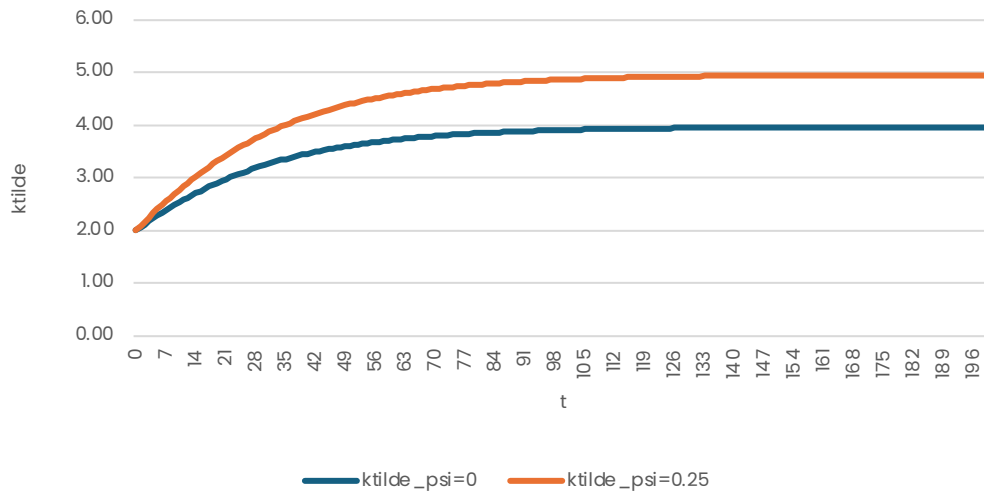
Estado estacionario	Baseline	Escenario 1	$\Delta\%$
$\tilde{k}$	3.97	4.96	25.0%
$\tilde{y}$	1.99	2.23	11.8%
$\tilde{c}$	1.69	1.89	11.8%

En estos escenarios, puede apreciarse que los estados estacionarios para las variables en su forma intensiva son mayores cuando  $\psi=0.25$ ; a continuación, se muestra el ajuste hacia el estado estacionario para la variable  $\tilde{k}_t$  comparando el caso base ( $\psi=0$ ) con el caso cuando  $\psi=0.25$ ; en ambos casos la condición inicial es  $\tilde{k}_t=2$ .

En cuanto a la tasa de crecimiento del capital per cápita ( $k$ ), y partiendo de una condición inicial  $k_0=3$ , se aprecia que en efecto la incorporación de IA incide en que la tasa de crecimiento de esta variable sea superior en un horizonte temporal de mediano plazo a la tasa de crecimiento, en una situación en la que IA no se incorpora en la función de producción. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, la tasa de crecimiento del capital per cápita en ambas situaciones termina convergiendo a la tasa de crecimiento de la tecnología.

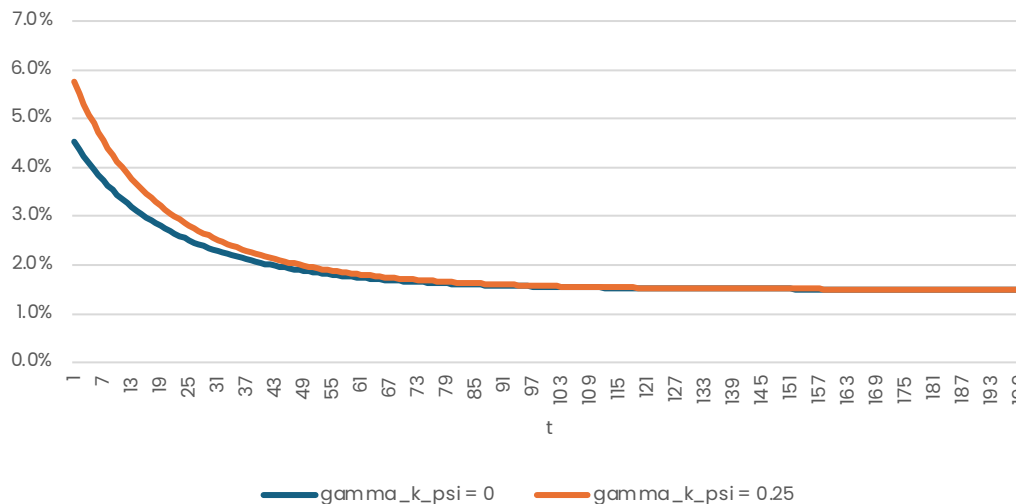
<sup>7</sup> Estos valores son hipotéticos, y se basan en datos que son usualmente utilizados en literaturas de este tipo.

## Gráfico 1 Stock de capital en su forma intensiva



Fuente: Elaboración propia a partir de la ecuación [5].

## Gráfico 2 Tasa de crecimiento del capital per cápita



Fuente: Elaboración propia a partir de la ecuación [11].

En resumen, la incorporación de IA en un modelo de Solow con neutralidad a la Harrod conduce a mayores valores de estado estacionario para las variables en su forma intensiva. Además, cuando se incorpora IA, se produce en el mediano plazo una mayor tasa de crecimiento para el capital per cápita en comparación con una situación en la que no se incorpora IA.

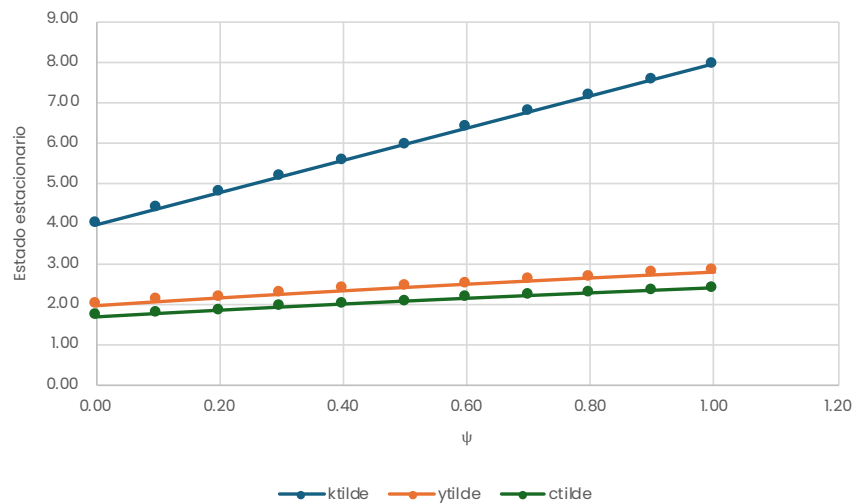
Según estos resultados, los efectos de la incorporación de la IA se observan en una mejora de la productividad y un incremento en el nivel del crecimiento económico; no obstante, siempre se cumple que, en el largo plazo, la tasa de crecimiento del capital per cápita termina convergiendo a la tasa de crecimiento de la variable tecnológica.

## v. Análisis de sensibilidad en torno al parámetro $\psi$

En el contexto del modelo de Solow Harrod neutral extendido, el parámetro  $\psi$  denota la adopción de la IA y su influencia en la productividad del trabajo. Comprender cómo las variaciones en este parámetro afectan los equilibrios de largo plazo es esencial para captar completamente las implicaciones económicas de la IA. En este apartado, se presenta un análisis de sensibilidad de dicho parámetro para evaluar su impacto en las variables económicas en su forma intensiva. Este análisis ofrece una guía valiosa para formuladores de políticas sobre cómo diferentes niveles de adopción de IA pueden influir en los valores de equilibrio de largo plazo del modelo.

Lo que puede apreciarse en el siguiente gráfico es una relación lineal y positiva entre la adopción de la IA denotado por el parámetro  $\psi$  y los estados estacionarios para las variables en su forma intensiva

**Gráfico 3 Relación entre la adopción de la IA y el estado estacionario**



Fuente: Elaboración propia a partir de la ecuación [7], [8] y [9].

Al analizar los dos casos extremos para el parámetro  $\psi$ , se tienen los siguientes estados estacionarios:

Estado estacionario	$\psi = 0$	$\psi = 1$	$\Delta\%$
ktilde	3.97	7.94	100.0%
ytilde	1.99	2.82	41.4%
ctilde	1.69	2.39	41.4%
$\psi$	0.00	1.00	

Obsérvese que un valor de  $\psi=1$  hace posible que se duplique el valor de equilibrio de largo plazo para el capital en su forma intensiva; con lo que se corrobora que incrementos en  $\psi$  aumentan los valores de estado estacionario para las variables en su forma intensiva.



## 4. CONCLUSIONES

La IA está redefiniendo los límites de lo posible, ofreciendo oportunidades sin precedentes para la transformación económica y social de los países. A través de este estudio, se ha explorado cómo la adopción de la IA, representada por el parámetro  $\psi$  influye en los equilibrios de largo plazo dentro de un modelo de Solow modificado con neutralidad a la Harrod.

Los resultados de las simulaciones indican que incorporar IA al proceso productivo, incrementa de forma significativa los niveles de capital y producto por trabajador efectivo en estado estacionario. La evidencia teórica revisada en este documento muestra que en escenarios donde aumenta  $\psi$ , se esperaría tener mayores beneficios económicos, incorporando la IA, que presenta un potencial de duplicar el capital intensivo en el largo plazo cuando su adopción es plena.

Aunque la IA acelera el crecimiento en el mediano plazo, las simulaciones evidencian que la tasa de crecimiento de las variables per cápita convergen a la tasa de crecimiento de la tecnología; lo cual reafirma que, aunque la IA puede ofrecer ventajas competitivas y mejorar significativamente los niveles de bienestar en el corto y mediano plazo, es la innovación continua y el desarrollo tecnológico lo que impulsa el crecimiento de manera sostenida.

Debido a los efectos positivos que sobre el crecimiento económico tiene la adopción de la IA, existen importantes implicaciones para el diseño e implementación de políticas económicas, principalmente en países como los de la región COSEFIN.

El abordaje de la IA como una oportunidad para el crecimiento, tiene sentido en un contexto donde el crecimiento potencial de los países de la región muestra una tendencia secular decreciente, debido al estancamiento de la productividad total de los factores, a un bajo crecimiento de la fuerza laboral y a incrementos marginales de la inversión total con respecto al PIB.

La IA es una herramienta que correctamente gestionada puede ayudar a los países a transitar hacia una nueva senda de prosperidad compartida; en tal sentido, esta investigación proporciona una guía para continuar ampliando los estudios y análisis de los efectos de este factor en la vida de las personas, así como incorporar una posible medición de sus impactos, para poder entregar mejores herramientas para el diseño de políticas económicas y fiscales que permitan alcanzar el desarrollo de los países y sus ciudadanos.



## 5. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de esta investigación se basan en los principales hallazgos encontrados en un estudio previo realizado por la Secretaría Ejecutiva del COSEFIN, obtenidas en el taller regional de análisis de las perspectivas del crecimiento económico de largo plazo para los países de la región (SECOSEFIN, 2023).

La principal conclusión de dicho estudio es que existe una co-evolución entre la trayectoria del PIB y la productividad total de los factores, lo cual permite al menos sugerir preliminarmente que, si los países desean acelerar su crecimiento económico o salir de la trampa de bajo crecimiento de las últimas dos décadas, deben incorporar mayor innovación y cambio tecnológico a su matriz productiva y lograr de esa manera, mayor eficiencia en el sentido schumpeteriano.

En el estudio además se observa que el crecimiento económico de estas economías se ha sustentado en actividades intensivas en trabajo y en capital y no en actividades intensivas en conocimiento y progreso técnico. En este sentido, el papel de la política económica y especialmente de las políticas de oferta continúa teniendo un papel fundamental para revertir la tendencia decreciente del crecimiento potencial de los países de COSEFIN.

En ese sentido, y con el fin de maximizar los beneficios de la IA sobre el crecimiento económico y el bienestar social, se vuelve necesario formular políticas públicas que incentiven la inversión en tecnologías de IA y la formación en habilidades y destrezas requeridas para el manejo de dichas tecnologías. Además, es fundamental crear marcos normativos que faciliten la implementación ética y eficiente de la IA.

La dinamización del crecimiento económico impulsado por la inteligencia artificial debiera ser una de las prioridades en la política pública. No obstante, este crecimiento debe ser sostenible y responsable, especialmente ante la vulnerabilidad de ciertos empleos susceptibles de ser reemplazados por la automatización.

En sintonía con los planteamientos de CEPAL (2022) y el FMI (2024), las medidas de política fiscal, también debería incentivar la adopción de la IA en las organizaciones, equilibradas con sistemas tributarios y de protección social destinados a mitigar las desigualdades derivadas de la sustitución de empleos.

Esto es crucial en el contexto de la reconfiguración global del mercado laboral impulsada por la IA. Además, se requiere un marco normativo tributario y ético que responda a estas preocupaciones, y que puede ser abordado en el Eje de Economía Política de la Política Fiscal dentro de la Matriz de Interés Fiscal (MIF) del COSEFIN.

En síntesis, dentro de un posible escenario de medidas de políticas económicas con capacidad de impulsar el PIB la adopción de la IA en la región, se podrían plantear las siguientes:

- Impulsar la inversión pública y privada en investigación, desarrollo y adopción de tecnología IA en los procesos productivos, especialmente en los sectores claves de las economías.
- Implementar mejoras en los sistemas educativos, introduciendo IA educativa, para cualificar a la fuerza laboral y aprovechar la ventana de oportunidad del bono demográfico en los países de COSEFIN.
- Incorporar procesos de producción con IA, en la producción de servicios.



## 6. REFERENCIAS

- Aghion, P., Jones, B., & Jones, C. (2017). Artificial intelligence and economic growth. Nber working paper series( 23928). Obtenido de: <http://www.nber.org/papers/w23928>
- Albrieu, R., Rapetti, M., Brest López, C., Larroulet, P., & Sorrentino, A. (2017). Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Argentina. CIPREC. Obtenido de: <https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2018/11/ADE-ARG-vf.pdf>
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers(189). Obtenido de: <https://doi.org/10.1787/1815199X>
- Baro, R., & Sala-i-Martin, X. (2004). Economic Growth 2nd edition. Massachusetts Institute of Technology.
- Benhamou, S. (2022). La transformación del trabajo y el empleo en la era de la inteligencia artificial : Análisis, ejemplos e interrogantes. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/586b344a-0dac-497c-9290-f8eb1a00221f/content>
- Deloitte. (2018). How artificial intelligence is transforming the financial ecosystem. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/ce/en/pages/financial-services/articles/artificial-intelligence-transforming-financial-ecosystem-deloitte-fsi.html>
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? United Kingdom: University of Oxford. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- Gries, T., & Naudé, W. (2020). Artificial Intelligence, Income Distribution and Economic Growth. GLO Discussion Paper. Obtenido de: <https://ideas.repec.org/p/zbw/glodps/632.html>
- Lu, C.-H. (2021). The impact of artificial intelligence on economic growth and welfare. Journal of Macroeconomics, 69. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2021.103342>
- Mankiw, G. (2009). Macroeconomía 8va edición.
- Mankiw, G. (2010). Macroeconomics 7th edition. Worth Publishers.
- McCarthy, J. (2007). What is Artificial Intelligence? Stanford University, Computer Science Department. Obtenido de <https://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf>
- McKinsey & Company. (2020). How COVID-19 has pushed companies over the technology tipping point—and transformed business forever. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/how-covid-19-has-pushed-companies-over-the-technology-tipping-point-and-transformed-business-forever>
- McKinsey & Company. (2024). Scaling gen AI in banking: Choosing the best operating model. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/scaling-gen-ai-in-banking-choosing-the-best-operating-model>
- Nedelkoska, L., & Quintini, G. (2018). Automation, skills use and training. OECD Social, Employment and Migration Working Papers(202). Obtenido de: <https://dx.doi.org/10.1787/2e2f4eea-en>
- Rendón-Nebel, M. T. (2009). Efecto del progreso técnico y el Desarrollo Humano.
- Romer, D. (2019). Advanced Macroeconomics . Mc Graw-Hill Education.
- Russell, S., & Norvig, P. (2010). Artificial Intelligence. A Modern Approach. New Jersey, USA: Prentice Hall. Obtenido de [https://people.engr.tamu.edu/guni/csce421/files/AI\\_Russell\\_Norvig.pdf](https://people.engr.tamu.edu/guni/csce421/files/AI_Russell_Norvig.pdf)
- Sala-i-Martin, X. (2002). Apuntes de crecimiento económico. España.
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. Quarterly Journal of Economics, L, 65-94.
- World Economic Forum. (2020). AI has started a financial revolution - here's how. Obtenido de <https://www.weforum.org/agenda/2020/02/how-ai-is-shaping-financial-services/>

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Nuevas oportunidades para el crecimiento  
Una perspectiva analítica de interés para la  
Política Fiscal



**COSEFIN**  
Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de  
Centroamérica, Panamá y República Dominicana

Secretaría  
Ejecutiva



**SICA**  
Sistema de la Integración  
Centroamericana