



# Colombia inteligente: inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo

Colección  
Ciberseguridad y  
Ciberdefensa

Editores  
Milena Elizabeth  
Realpe Díaz

Giovanni Alberto  
Gómez Rodríguez

# Colombia inteligente

## Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo





# Colombia inteligente Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo

MILENA ELIZABETH REALPE DÍAZ  
GIOVANNI ALBERTO GÓMEZ RODRÍGUEZ  
(EDITORES)

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"  
Bogotá D.C., 2026

### Catalogación en la publicación – Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo, Milena Elizabeth Realpe Díaz y Giovanni Alberto Gómez Rodríguez, editores -- Bogotá D.C.: Sello Editorial ESDEG, 2026

222 páginas: ilustraciones y tablas; 24 cm

Incluye referencias al final de cada capítulo

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

E- ISBN: 978-628-7818-60-6

(Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa)

1. Ciberseguridad – Colombia 2. Ciberdefensa – Colombia 3. Inteligencia artificial – Colombia 4. Política pública – Colombia i. Caro Cancelado, Fabio Leonardo, Mayor General, (prefacio) ii. Realpe Díaz, Milena Elizabeth, (editor – autor) iii. Gómez Rodríguez, Giovanni Alberto, (autor) iv. Arias Rodríguez, Ruddy, (autor) v. Díaz Jaimes, Jesús María, (autor) vi. Moreno Ojeda, Carlos Iván, (autor) vii. Rodríguez Rodríguez, Alba Yaneth, (autor) viii. Giraldo Leal, María Andrea, (autor) ix. Colombia Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG)

SCLC HC199.5 I55 2026  
SCDD 352.38

Registro Catalográfico SIBFuP 991409933607231



Archivo descargable en formato MARC en: <https://short.do/NI3njX>

### Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo

Primera edición, 2026

#### Editores:

Milena Elizabeth Realpe Díaz

Giovanni Alberto Gómez Rodríguez

#### Cubierta:

Lina Marcela Manrique Lozada utilizando Gemini IA

2026 Escuela Superior de Guerra

“General Rafael Reyes Prieto”

Vicedirección de Investigación

Sello Editorial ESDEG

Carrera 11 N°. 102-50 Bogotá D.C., Colombia

[www.esdeglibros.edu.co](http://www.esdeglibros.edu.co)

### Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

ISBN digital: 978-628-7818-60-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606>

Libro electrónico publicado a través de la plataforma

Open Monograph Press.

Tiraje de 100 ejemplares

Impreso en Colombia

Libro resultado de investigación de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”.

El contenido de este libro corresponde exclusivamente al pensamiento de los autores y es de su absoluta responsabilidad. Las posturas y aseveraciones aquí presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representa necesariamente la posición oficial ni institucional de las instituciones participantes, la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, las Fuerzas Militares de Colombia y el Ministerio de Defensa Nacional.



Los libros publicados por el Sello Editorial ESDEG son de acceso abierto bajo una licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Mayor General  
**Fabio Leonardo Caro Cancelado**  
DIRECTOR

Coronel  
**Aldemar Serrano Cuervo**  
SUBDIRECTOR (E)



Coronel  
**Aldemar Serrano Cuervo**  
JEFE SELLO EDITORIAL ESDEG

**Erika Ramírez Benítez**  
EDITORA LIBROS ESDEG

**Jorge Hernando Aristizábal Gáfaró**  
CORRECTOR DE ESTILO

**Rubén Alberto Urriago Gutiérrez**  
DIAGRAMADOR



# Contenido

---

|                                                                                                                                                                                                              |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Prefacio</b><br>MG. Fabio Leonardo Caro Cancelado                                                                                                                                                         | 09-11   |
| <b>Introducción</b><br>Milena Elizabeth Realpe Díaz<br>Giovanni Alberto Gómez Rodríguez                                                                                                                      | 13-20   |
| <b>Capítulo 1</b><br><b>Inteligencia artificial y políticas públicas en Colombia:<br/>hacia un desarrollo sostenible</b><br>Ruddy Arias Rodríguez                                                            | 21-52   |
| <b>Capítulo 2</b><br><b>Implementación de la inteligencia artificial como aporte<br/>al desarrollo económico nacional</b><br>Jesús María Díaz Jaimes                                                         | 53-90   |
| <b>Capítulo 3</b><br><b>Inteligencia artificial para el fortalecimiento de la seguridad<br/>y defensa de Colombia</b><br>Carlos Iván Moreno Ojeda<br>Giovanni Alberto Gómez Rodríguez                        | 91-134  |
| <b>Capítulo 4</b><br><b>El futuro del desarrollo: la inteligencia artificial como motor<br/>de cambio en la educación en Colombia</b><br>Alba Yaneth Rodríguez Rodríguez<br>Giovanni Alberto Gómez Rodríguez | 135-181 |

## Capítulo 5

### La inteligencia artificial como motor de cambio en la productividad y el desarrollo humano en Colombia

183-215

María Andrea Giraldo Leal

Milena Elizabeth Realpe Díaz

## Epílogo

217-220

Milena Elizabeth Realpe Díaz

Giovanni Alberto Gómez Rodríguez

# Prefacio

---

## **Mayor General Fabio Leonardo Caro Cancelado**

Director de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

En un momento de transformación global acelerada, donde la inteligencia artificial está transformando el desarrollo, la seguridad y la competitividad nacional, la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" presenta con profundo espíritu académico e investigativo esta obra colectiva que articula una visión estratégica en clave de desarrollo para Colombia en la era digital.

*Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* representa el fruto del trabajo académico riguroso de investigadores de nuestra institución, quienes desde sus respectivas áreas de expertise han construido un análisis multidimensional sobre el potencial transformador de la inteligencia artificial como catalizador del desarrollo nacional en su concepción más amplia. Esta obra, tal como ha sido concebida, supera el análisis académico tradicional para constituirse en un instrumento de análisis reflexivo, pero también de orden pragmático que aporta a la formulación de política pública, contribuyendo con un agregado de conocimiento aplicado a la toma de decisiones en los más altos niveles del Estado.

La pertinencia de este trabajo radica en su capacidad para abordar simultáneamente las dimensiones técnica, económica, estratégica, educativa y ética del fenómeno de la inteligencia artificial. En un contexto donde las brechas digitales amenazan con profundizar desigualdades históricas, esta investigación propone rutas concretas para una adopción inclusiva, sostenible y soberana de tecnologías emergentes que fortalezcan las capacidades nacionales en todos los ámbitos del poder nacional, en estrecho vínculo con la noción de desarrollo y las alternativas que han de viabilizarse en clave tecnológica para alcanzarlo.

Desde la perspectiva de la defensa y seguridad nacional, ámbito que constituye el corazón de nuestra misión institucional, resulta imperativo comprender que la

inteligencia artificial no es solo una herramienta tecnológica, sino un factor determinante de la ecuación fundamental del desarrollo y progreso del país. Las naciones que logren desarrollar capacidades autónomas en IA generativa, aprendizaje automático y sistemas inteligentes aplicados a la defensa, no solo garantizarán su seguridad en el dominio cibernético, sino que consolidarán ventajas estratégicas clave en el escenario geopolítico del siglo XXI.

Esta obra colectiva se distingue por su enfoque metodológicamente riguroso y contextualmente ubicado. Los autores no se limitan a replicar diagnósticos globales, sino que profundizan en las especificidades del caso colombiano: sus brechas estructurales, sus oportunidades únicas derivadas de factores como la biodiversidad y el talento humano, y sus desafíos institucionales para la implementación efectiva de políticas tecnológicas. Este arraigo en la realidad nacional, combinado con la comparación sistemática con referentes internacionales, confiere a la investigación un valor particular para quienes tienen la responsabilidad de diseñar e implementar políticas públicas en Colombia.

Desde la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, institución rectora del pensamiento estratégico nacional, reconocemos que la soberanía del siglo XXI no se construye únicamente con capacidades militares tradicionales, sino mediante el desarrollo de ecosistemas tecnológicos robustos, capital humano altamente calificado, marcos regulatorios sólidos y alianzas estratégicas que permitan a Colombia participar como actor relevante en la economía del conocimiento global. Este libro contribuye directamente a estos objetivos estratégicos al proporcionar fundamentos conceptuales y propuestas operativas para la construcción de un modelo de desarrollo nacional potenciado por la inteligencia artificial en múltiples aspectos; puesto que del diagnóstico que precede a cada análisis, se extrae que en efecto; las áreas a intervenir para lograr el desarrollo son diversas y deben coevolucionar, vanos son y serán los esfuerzos aislados.

Invito a los lectores —académicos, funcionarios públicos, empresarios, militares y ciudadanos comprometidos con el futuro del país— a apropiarse del espíritu crítico y la vocación transformadora con que esta obra ha sido escrita. Las reflexiones aquí contenidas no pretenden ofrecer recetas definitivas, sino abrir espacios de diálogo informado para la construcción colectiva de un proyecto nacional de largo plazo que posicione a Colombia como protagonista, y no como espectador, de la revolución tecnológica en curso; que los proyectos futuros se centren en procurar la independencia en las tecnologías de punta y emergentes; pues como

queda claro en el estudio, los activos del conocimiento son en la actualidad los que generan verdadero valor a las instituciones y las empresas.

Agradezco profundamente a los autores por su dedicación académica y su compromiso con la construcción de conocimiento al servicio de la nación. Que esta obra inspire políticas públicas efectivas, investigaciones futuras y, sobre todo, acciones concretas que materialicen el potencial de la inteligencia artificial como motor de desarrollo nacional integral, equitativo y sostenible para todos los colombianos.



# Introducción

---

**Milena Elizabeth Realpe Díaz**  
**Giovanni Alberto Gómez Rodríguez**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, la inteligencia artificial emerge como una de las tecnologías más disruptivas del siglo XXI, con capacidad para transformar las bases del desarrollo económico, social y estratégico de las naciones. Para Colombia, país caracterizado por profundas desigualdades estructurales, pero en contraste, por oportunidades históricas derivadas de su riqueza natural y humana, la adopción técnica, operativa y estratégica de la IA representa tanto un imperativo para figurar en el escenario de competitividad global como una herramienta de enorme potencial para acelerar la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible y cerrar brechas históricas de inequidad.

*Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* es un esfuerzo colectivo que integra análisis rigurosos, evidencia empírica y propuestas estratégicas para orientar la implementación de la inteligencia artificial como catalizador del desarrollo nacional. Esta obra interdisciplinaria integra perspectivas de política pública, economía, defensa y seguridad, educación y desarrollo humano, configurando una visión integral que va más allá del determinismo tecnológico, sino que apuesta y encuentra en la IA un motor de cambio con tal fuerza que bien puede constituir la base del progreso nacional.

El impacto de esta investigación se proyecta en múltiples dimensiones. En el ámbito académico, contribuye a la consolidación de una literatura científica colombiana sobre inteligencia artificial aplicada al desarrollo, campo que hasta ahora ha estado dominado por referencias del norte global sin suficiente contextualización a las realidades latinoamericanas. Los marcos analíticos propuestos, las metodologías empleadas y los hallazgos empíricos constituyen aportes significativos al debate académico regional sobre tecnología y desarrollo.

En el plano de las políticas públicas, la obra proporciona insumos conceptuales y operativos directamente aplicables para la formulación, implementación y evaluación de estrategias gubernamentales. Los análisis de marcos regulatorios internacionales, las propuestas de arquitecturas institucionales y los mecanismos específicos de intervención constituyen herramientas valiosas para tomadores de decisión en los más altos niveles del Estado, complementando documentos oficiales como el CONPES 4144 de 2025 con análisis críticos y propuestas de segunda generación que abordan sus limitaciones identificadas.

Desde una perspectiva estratégica y de seguridad nacional, el trabajo analiza las implicaciones geopolíticas de la inteligencia artificial como factor de poder, identificando oportunidades y amenazas para la autonomía estratégica colombiana. En un contexto global donde las brechas tecnológicas definen crecientemente la jerarquía de poder entre naciones, comprender las dinámicas de la competencia en IA resulta fundamental para la formulación de estrategias de defensa, ciberseguridad y proyección internacional del país (Acemoglu & Restrepo, 2024).

La pertinencia de esta obra se fundamenta en su capacidad para abordar simultáneamente tres dimensiones críticas frecuentemente desarticuladas en la literatura existente: la viabilidad técnica de implementaciones de IA en contextos de recursos limitados, la sostenibilidad económica de estrategias de digitalización avanzada y la inclusión social de transformaciones tecnológicas aceleradas. Esta convergencia permite superar visiones fragmentadas que abordan la IA exclusivamente desde ópticas tecnológicas, económicas o éticas, para proponer un enfoque integrado que reconoce las interdependencias sistémicas entre estas dimensiones.

El propósito fundamental de este libro consiste en proporcionar un análisis comprehensivo y contextualizado sobre cómo Colombia puede aprovechar estratégicamente el potencial transformador de la inteligencia artificial para acelerar su desarrollo humano, económico y social, abordando simultáneamente los desafíos técnicos, éticos, regulatorios e institucionales que condicionan su implementación efectiva. Más allá de replicar diagnósticos globales, la obra busca construir conocimiento situado que reconozca tanto las oportunidades únicas como las limitaciones específicas del contexto colombiano.

La arquitectura conceptual del trabajo se fundamenta en tres premisas interrelacionadas que atraviesan todos los capítulos. Primero, que la inteligencia artificial constituye una tecnología de propósito general con potencial para generar retornos crecientes a escala, pero cuyos beneficios no se distribuyen automáticamente,

sino que requieren intervenciones deliberadas de política pública para garantizar inclusión territorial y sectorial (Rodrik, 2023). Segundo, que la efectividad de implementaciones de IA está condicionada fundamentalmente por la existencia de condiciones necesarias como infraestructura digital y capital humano, marcos regulatorios, ecosistemas de innovación— cuya ausencia puede convertir inversiones tecnológicas en ejercicios de profundización de desigualdades preexistentes. Tercero, que el desarrollo de capacidades autónomas en IA significan un imperativo estratégico de soberanía tecnológica y seguridad nacional en el siglo XXI.

El capítulo 1, “Inteligencia artificial y políticas públicas en Colombia: hacia un desarrollo sostenible”, establece los fundamentos analíticos de la obra mediante un análisis comprehensivo del marco de políticas públicas colombiano sobre IA, evaluando su alineación con los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente el ODS 9 sobre industria, innovación e infraestructura. El autor examina críticamente documentos oficiales como los CONPES 3975, 3995 y 4144, contrastándolos con marcos regulatorios de referencia internacional como la Ley de IA de la Unión Europea, las recomendaciones de la OCDE y los modelos de Estados Unidos, China y Reino Unido.

El aporte principal del capítulo es su análisis dual desde las perspectivas de *hard law* (regulación vinculante) y *soft law* (directrices éticas no vinculantes), revelando que Colombia ha adoptado un modelo híbrido que combina ambos enfoques. El análisis cuantitativo del cumplimiento del ODS 9 evidencia avances modestos pero insuficientes, con porcentajes de progreso que oscilan entre 42,5 % en inversión en I+D y 72,5 % en infraestructura, identificando brechas críticas que condicionan la efectividad de cualquier estrategia de adopción de IA. El capítulo concluye con propuestas concretas para fortalecer el ecosistema nacional de IA, incluyendo la necesidad de elevar estas políticas a rango de ley para garantizar su obligatoriedad, crear fondos mixtos público-privados de innovación y desarrollar clústeres tecnológicos regionales que descentralicen las capacidades actualmente concentradas en grandes centros urbanos.

El capítulo 2, “Implementación de la inteligencia artificial como aporte al desarrollo económico nacional”, profundiza en las dimensiones económicas y productivas de la adopción de IA, proponiendo un marco estratégico integral que articula infraestructura tecnológica, formación de capital humano, innovación y gobernanza ética. El análisis se fundamenta en tres teorías económicas complementarias—crecimiento endógeno de Romer, modelo de Solow y desarrollo territorial endógeno— que proporcionan sustento conceptual riguroso para comprender cómo la IA puede actuar como catalizador de crecimiento económico sostenido.

La contribución distintiva del capítulo radica en su análisis meticuloso de las barreras estructurales que condicionan la adopción inclusiva de IA en Colombia: déficits de acceso a energía eléctrica confiable en 19,3 % del territorio, brechas profundas de conectividad digital donde solo 37,1 % del territorio cuenta con conectividad de calidad suficiente para aplicaciones avanzadas e inseguridad hídrica en 23,4 % del territorio nacional. Estas limitaciones configuran lo que el autor denomina *el estrato fundacional de exclusión tecnológica*, advirtiendo que cualquier estrategia de implementación de IA que no aborde estas precondiciones básicas reproducirá inevitablemente patrones históricos de inequidad territorial.

La propuesta se estructura en cinco ejes complementarios con horizontes temporales claramente secuenciados hasta 2035: infraestructura tecnológica (Red nacional de conectividad avanzada, centros regionales de innovación digital), formación y capacitación (transformación curricular multinivel, programas de transición laboral), innovación y emprendimiento (régimen especial de fomento, fondo nacional de inversión), regulación y ética (sistema nacional de gobernanza, observatorio de impactos sociales) y sectores estratégicos (programas de transformación sectorial en bioeconomía, energías renovables y componentes electrónicos). El capítulo articula estas propuestas con un esquema financiero diversificado de COP 4,82 billones, demostrando no solo la viabilidad técnica sino también la factibilidad económica de una estrategia nacional ambiciosa pero realista.

El capítulo 3, "Inteligencia artificial para el fortalecimiento de la seguridad y defensa de Colombia", aborda las dimensiones estratégicas y de seguridad nacional de la inteligencia artificial, examinando su potencial para transformar las capacidades de las Fuerzas Militares colombianas en múltiples dominios operacionales. El análisis se fundamenta en la teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto (TCTC), proporcionando un marco conceptual para comprender cómo la penetración acelerada de tecnologías de automatización impulsadas por IA está reconfigurando las dinámicas del conflicto armado y la seguridad internacional.

La contribución del capítulo radica en su análisis sistemático de aplicaciones específicas de IA en el ámbito militar, identificando técnicas prioritarias (aprendizaje automático supervisado y no supervisado, procesamiento de lenguaje natural, visión artificial, sistemas multiagente) y sus aplicaciones en funciones críticas como vigilancia y reconocimiento, ciberdefensa, mantenimiento predictivo, apoyo a decisiones tácticas y logística optimizada. Los autores documentan experiencias internacionales de implementación militar de IA en potencias como Estados Unidos, Israel, Unión Europea, España y Corea del Sur, contrastándolas con las capacidades actuales y potenciales de Colombia.

El análisis destaca desarrollos nacionales como sistemas de análisis de *big data* para inteligencia militar y plataformas de ciberseguridad potenciadas por IA, evidenciando capacidades emergentes que requieren inversión sostenida y visión estratégica de largo plazo. El capítulo concluye con recomendaciones específicas sobre priorización de inversiones, desarrollo de talento humano especializado, cooperación internacional en I+D militar y marcos éticos para el uso de sistemas autónomos en operaciones de defensa, equilibrando el imperativo de efectividad operacional con consideraciones humanitarias y de derecho internacional.

El capítulo 4, “La inteligencia artificial como motor de cambio en la educación en Colombia”, examina el potencial transformador de la IA en el sistema educativo colombiano, identificando la educación como variable estratégica para acelerar el desarrollo humano integral. Los autores parten del análisis de las persistentes brechas de desigualdad en cobertura, calidad y resultados educativos que caracterizan el contexto nacional, documentadas mediante indicadores del índice de desarrollo humano y evaluaciones estandarizadas como las Pruebas Saber.

La contribución distintiva del capítulo radica en su enfoque metodológico mixto que integra análisis cualitativos interpretativos con evaluaciones cuantitativas rigurosas, permitiendo establecer relaciones causales verificables entre mejoras en calidad educativa potenciadas por IA y variables determinantes del desarrollo nacional. El análisis examina arquitecturas transformadoras específicas como los modelos *transformer*, documentando sus aplicaciones concretas en personalización adaptativa del aprendizaje, sistemas de tutoría inteligente, evaluación automatizada, analítica predictiva de rendimiento académico y gestión optimizada de recursos educativos.

Los autores documentan experiencias exitosas de implementación de IA educativa a nivel internacional —Singapur, Estonia, Corea del Sur— y nacional —programas piloto en Bogotá D.C., Medellín y Manizales—, identificando factores críticos de éxito y obstáculos recurrentes. El capítulo propone un marco estratégico para la incorporación gradual de IA en el sistema educativo colombiano, estructurado en fases que priorizan la formación docente, el desarrollo de infraestructura digital educativa y la creación de contenidos pedagógicos culturalmente pertinentes. Significativamente, los autores enfatizan consideraciones éticas fundamentales respecto a privacidad de datos estudiantiles, transparencia algorítmica y equidad en el acceso, proponiendo un modelo de gobernanza participativa que involucre a educadores, familias y estudiantes en decisiones sobre implementación tecnológica.

El capítulo 5, “La inteligencia artificial como motor de cambio en la productividad y el desarrollo humano en Colombia”, cierra la obra con una reflexión integradora sobre el papel de la IA como pilar estratégico para impulsar el desarrollo económico y social de Colombia. La autora examina cómo la IA puede optimizar procesos en sectores cruciales como educación, salud y seguridad, identificando simultáneamente las barreras tecnológicas y regulatorias que ralentizan su adopción efectiva en el contexto nacional.

La contribución distintiva del capítulo radica en su fundamentación teórica en la vida artificial, particularmente los trabajos pioneros de Christopher Langton y el Juego de la vida de John Conway, que proporcionan un marco conceptual para comprender cómo sistemas computacionales relativamente básicos pueden exhibir propiedades de autoorganización y adaptabilidad. Este enfoque teórico ilumina el desarrollo de autómatas celulares, algoritmos genéticos y redes neuronales que sustentan las aplicaciones contemporáneas de IA, conectando principios biológicos fundamentales con implementaciones tecnológicas avanzadas.

El análisis documenta la evolución histórica de la IA desde la prueba de Turing (1950) y la Conferencia de Dartmouth (1956) hasta la emergencia de la IA generativa en 2018-2024, destacando hitos como la victoria de *Deep Blue* sobre Kasparov (1997), el triunfo de AlphaGo sobre Lee Sedol (2016) y la publicación del artículo seminal *Attention Is All You Need* (2017) que fundamentó la arquitectura *transformer*. Esta periodización histórica permite comprender la aceleración exponencial de capacidades en IA y sus implicaciones para sectores estratégicos colombianos.

La autora enfatiza la urgencia de superar limitaciones estructurales mediante mayor inversión en infraestructura digital, formación de talento especializado y alianzas estratégicas entre gobierno, academia y sector privado. El capítulo sostiene como tesis central que, mediante un enfoque ético y colaborativo, la IA puede impulsar significativamente la competitividad y el progreso nacional, siempre que se garantice la protección de derechos fundamentales y la equidad social. Para materializar este potencial, propone un marco regulatorio firme y políticas de Estado que incentiven la innovación responsable, reconociendo que el verdadero desafío no es tecnológico sino institucional, normativo y social.

El análisis cuantitativo presentado, fundamentado en informes de organismos internacionales como McKinsey Global Institute, OCDE y UNESCO, proyecta que la implementación intensiva de IA puede incrementar la productividad laboral global entre 0,8 % y 1,4 % anualmente hasta 2030. Para Colombia, el capítulo identifica sectores con mayor potencial de transformación —salud con sistemas

de diagnóstico asistido, educación con plataformas adaptativas, finanzas con optimización de gestión de riesgo— y propone lineamientos específicos para una adopción que provea balance entre eficiencia económica con desarrollo humano integral, conectando así con el paradigma de capacidades y libertades sustantivas articulado en capítulos anteriores.

*Colombia inteligente* representa una contribución significativa al debate y proyecto nacional sobre transformación digital y desarrollo sostenible, distinguiéndose por tres características fundamentales que potencian su impacto académico y práctico. Primero, su naturaleza interdisciplinaria, que articula perspectivas frecuentemente desconectadas —económica, estratégica, educativa, tecnológica— en un marco conceptual integrado que reconoce las interdependencias sistémicas entre estas dimensiones. Segundo, su riguroso arraigo en la realidad colombiana, evitando tanto el optimismo desbordado acrítico como el pesimismo paralizante, para proponer rutas factibles de implementación contextualizada. Tercero, su orientación propositiva: no se limita al diagnóstico, cada estudio genera marcos estratégicos operativos, arquitecturas institucionales específicas y protocolos con secuencias de implementación realistas.

El valor duradero de esta obra no radica exclusivamente en las propuestas específicas que contiene —inevitablemente sujetas a actualización conforme evoluciona aceleradamente el campo de la IA— sino en los marcos analíticos, las metodologías de evaluación y los principios rectores que articula. Estos elementos conceptuales proporcionan herramientas intelectuales para pensar estratégicamente sobre tecnología y desarrollo más allá de coyunturas específicas, capacitando a formuladores de política, académicos y actores del ecosistema tecnológico para ser productivos en medio de la incertidumbre inherente a todo proceso de transformación estructural institucional.

El potencial de esta investigación para estimular trabajos futuros se manifiesta de múltiples formas. En el ámbito académico, los marcos teóricos propuestos —particularmente las articulaciones entre teorías del desarrollo humano, crecimiento endógeno y regulación adaptativa— ofrecen plataformas conceptuales para investigaciones empíricas específicas sobre impactos sectoriales, evaluaciones de intervenciones piloto y análisis comparativos regionales. Los instrumentos metodológicos desarrollados, especialmente los índices compuestos de madurez tecnológica y las métricas de adopción inclusiva, pueden ser refinados y aplicados en estudios longitudinales que documenten trayectorias de transformación digital en diferentes territorios colombianos.

En el dominio de las políticas públicas, las propuestas contenidas en cada capítulo constituyen insumos directos para procesos de formulación, implementación y evaluación de estrategias gubernamentales. Los análisis de arquitecturas institucionales, mecanismos de financiamiento, secuencias de intervención y sistemas de gobernanza proporcionan plantillas adaptables para diferentes niveles de gobierno —nacional, departamental, municipal— y sectores específicos —salud, agricultura, manufactura, servicios— que busquen aprovechar estratégicamente el potencial de la inteligencia artificial.

Desde una perspectiva más amplia, *Colombia inteligente* representa un ejercicio de pensamiento estratégico a largo plazo que Colombia necesita urgentemente para confrontar con éxito las complejidades del siglo XXI. En un contexto global caracterizado por incertidumbre geopolítica, volatilidad económica y transformación tecnológica acelerada, la capacidad de las naciones para construir visiones compartidas de futuro, fundamentadas en análisis riguroso y orientadas a la acción, se consideran un activo estratégico fundamental. Esta obra contribuye directamente a este imperativo nacional, invitando a diversos actores —gobierno, academia, sector privado, sociedad civil— a participar en un diálogo informado sobre los futuros posibles y deseables que Colombia puede construir aprovechando las oportunidades únicas que la inteligencia artificial ofrece, siempre y cuando se gestionen con método y talento sus riesgos potenciales.

Los editores de esta obra han logrado articular contribuciones de alta calidad académica en un volumen coherente que será referencia obligada para quienes trabajan en las intersecciones entre tecnología, desarrollo y política pública en Colombia. Invitamos a los lectores a reflexionar estimulados por los contenidos en cómo las transformaciones propuestas son plausibles, aunque solamente posibles mediante inversiones significativas y, fundamentalmente, un compromiso colectivo con la construcción de un modelo de desarrollo inclusivo, sostenible y autónomo para Colombia.

## Capítulo 1

# Inteligencia artificial y políticas públicas en Colombia: hacia un desarrollo sostenible\*

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606.01>

**Ruddy Arias Rodríguez**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

**Resumen:** Este capítulo examina el papel de la inteligencia artificial en el desarrollo sostenible de Colombia, evaluando las políticas públicas emitidas y su alineación con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 9. A través de un análisis documental y comparativo de referentes globales, se revisan normativas nacionales como los documentos CONPES y, políticas internacionales como las recomendaciones de la OCDE, con un enfoque desde los conceptos de *Hard Law* y *Soft Law*. Se concluye que Colombia avanza hacia un modelo mixto de gobernanza en IA, aunque enfrenta desafíos significativos en infraestructura digital, inversión en I+D y regulación efectiva. Se proponen acciones estratégicas para fortalecer el ecosistema tecnológico e impulsar una adopción ética, inclusiva y sostenible.

**Palabras clave:** desarrollo sostenible; *Hard Law*; inteligencia artificial; políticas públicas; *Soft Law*; transformación digital

---

\* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "La gobernanza del ciberespacio: desafíos y oportunidades en procura de la autonomía y el control digital", del grupo de investigación "Ciberespacio, Tecnología e Innovación" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en C por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0181179. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen al autor y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

## Ruddy Arias Rodríguez

Brigadier General (R) del Ejército Nacional de Colombia. Magíster en Seguridad y Defensa Nacional y en Ciberseguridad y Ciberdefensa, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia. MBA, INALDE Business School, Colombia.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2932-7994> - Contacto: [ruddy.arias@esdeg.edu.co](mailto:ruddy.arias@esdeg.edu.co)

**Citación APA:** Arias Rodríguez, R. (2026). Inteligencia artificial y políticas públicas en Colombia: hacia un desarrollo sostenible. En M. E. Realpe Díaz & G. A. Gómez Rodríguez (Eds.), *Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* (pp. 21-52). Sello Editorial ESDEG.  
<https://doi.org/10.25062/9786287818606.01>

## COLOMBIA INTELIGENTE. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS PARA UN NUEVO MODELO DE DESARROLLO

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

ISBN digital: 978-628-7818-60-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606>

### Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2026



## Introducción

La globalización, con los rápidos y constantes avances tecnológicos impulsados por la Cuarta Revolución Industrial (4RI), se convierte en un desafío significativo para los Gobiernos en la gestión de un desarrollo sostenible. Esta condición expone las desigualdades entre países con acceso a tecnología de punta como motor de producción y aquellos, como Colombia, que enfrentan limitaciones en la disponibilidad de tecnologías avanzadas (Hernández, 2023). Igualmente, para Orellana (2020), la brecha se amplía entre Gobiernos que pueden ofrecer una educación orientada en medios tecnológicos y otros que carecen de recursos para fomentar la investigación y el desarrollo, situación que agrava la competitividad y contribuye al aumento de la pobreza, especialmente en América Latina.

En consecuencia, las Naciones Unidas en 2015 establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como catalizadores esenciales del crecimiento económico, desarrollo social y control del cambio climático, esperando que países y personas dispusieran de mayores y mejores oportunidades de acceder a un mundo más sostenible a 2030 (UNDP, 2023). Para lograrlo, los Estados deberían generar inversiones, según sus capacidades, en la adopción de nuevas tecnologías que fomenten la innovación en las cadenas de producción, con procesos industriales que creen valor al medio ambiente y contribuyan a una sociedad más equitativa y justa (ONU, 2015).

Por lo tanto, una de las principales herramientas tecnológicas de la 4RI que facilitaría el cierre de brechas es la Inteligencia Artificial (IA), la cual, mediante el almacenamiento de datos, automatización de líneas de producción y optimización de recursos, permite agilizar la implementación de los ODS y facilita cumplir la agenda 2030 (Surasky, 2024).

En ese sentido, la IA permite que los sectores productivos contribuyan con mayor eficiencia en el desarrollo sostenible de los Estados, transformando de fondo a la sociedad día a día en todos los ámbitos, desde las formas de empleo, el acceso a la salud, hasta la privacidad y cuidado del medio ambiente. Estas transformaciones generan innumerables beneficios, pero también consideran la presencia de desafíos éticos y sociales que requieren una atención cuidadosa para asegurar que su uso se realice de una forma responsable y justa en favor de toda la humanidad (Vázquez, 2022).

Por lo anterior, esta herramienta debe contar con una política pública que regule y armonice los beneficios de todos los interesados. Para Monasterio (2021), refiriéndose al uso de la IA para el bien común, la IA está orientada a aplicar los avances y desarrollos para afrontar los desafíos de la sociedad y promover mejores condiciones de bienestar de las personas y sus entornos a nivel global.

No obstante, la regulación actual de la IA ha generado dos enfoques principales para enfrentar sus desafíos. Según Piedra (2023), el primero, llamado *hard law*, busca establecer una disposición jurídica específica, con leyes claras que regulen los límites y responsabilidades de la IA, destacando la intervención del Estado y de entidades supranacionales. Un ejemplo es la Ley de Inteligencia Artificial de la Unión Europea de 2024 (Moreno, 2024). Como segundo enfoque están las *soft law*, las cuales se basan en directrices no vinculantes, como las recomendaciones sobre IA emitidas por el Consejo de la OCDE en 2019. Ahora bien, mientras que el enfoque duro es más legal, el enfoque suave se centra en consideraciones éticas más profundas, lo que ha llevado al desarrollo de directrices éticas sobre IA (Parlamento Europeo, 2023).

Considerando lo anterior, Colombia no es ajena a la emisión de política pública con esos enfoques. Los diferentes gobiernos han tratado de implementar iniciativas mediante documentos CONPES y políticas sectoriales que contribuyan a utilizar las herramientas de la 4RI. Ejemplo de ello es la reciente política emitida sobre IA establecida en el CONPES 4144, con un enfoque que busca regular aspectos como la protección de datos y seguridad de la ciudadanía, para lograr ser más competitivos y sostenibles.

Por consiguiente, el objeto del presente trabajo es revisar las políticas públicas sobre IA emitidas en Colombia y cómo estas contribuyen al desarrollo sostenible. Al igual, si se requiere definir un nuevo enfoque de política pública que promueva los intereses del sector productivo nacional. En concreto, se examinará el alcance y dificultades de la IA como herramienta para un desarrollo sostenible,

considerando que la misma está siendo inmersa en casi todos los entornos de la sociedad. El estudio inicia con una aproximación a los conceptos de política pública, desarrollo sostenible e IA. Se comparan, enseguida, cuatro políticas sobre IA que son referentes a nivel global y las políticas emitidas por Colombia para determinar los enfoques y variables dominantes. Posterior, se realizará un análisis específico al cumplimiento del ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) por parte de Colombia y se identificarán los principales desafíos que se tienen desde la IA. Finalmente, se identificarán las principales iniciativas que promueven un nuevo modelo de política pública en IA que facilite cumplir con los retos del desarrollo sostenible en Colombia.

## Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se considera el paradigma del constructivismo con un enfoque cualitativo, el cual busca entender los fenómenos en su contexto natural, desarrollando la búsqueda de información desde la observación y análisis de documentos. Al final, se pretende construir una teoría que permita interpretar la subjetividad, ideología y percepción (Ramos, 2015). Por otra parte, Pelekais (2015) considera que hay quienes utilizan el método cualitativo para comprender el desarrollo de procesos, mediante herramientas confiables que, con los resultados obtenidos, facilitarán la toma de decisiones.

Ahora bien, utilizar el método cualitativo en esta investigación se da por cuanto su enfoque se caracteriza por estar centrado en la comprensión más detallada y con contexto de los temas de interés, como en este caso la inteligencia artificial, las políticas públicas y el desarrollo sostenible (Hernández et al., 2022). Este método cualitativo facilita obtener una gran fuente de datos que permite profundizar en los temas y dar una mejor interpretación del fenómeno que se investiga. De igual manera, ofrece flexibilidad, facilitando reorientar el enfoque al tiempo que se va confrontando más información, obteniéndose una visión más detallada y holística de los temas de estudio (Namakforoosh, 2000).

Por consiguiente, esta investigación realizará el análisis de documentos existentes sobre políticas públicas, inteligencia artificial, informes, artículos y otros materiales relacionados con el tema de investigación, logrando proporcionar un contexto para análisis e interpretación. Así mismo, se revisarán los estudios de caso sobre países que darán una comprensión profunda y detallada de cómo

se hace, permitiendo identificar patrones y contrastar con el caso colombiano (Iglesias, 2021).

De lo anterior, el presente trabajo conllevará la realización de una comparación de variables dominantes entre los documentos referentes para identificar los conceptos afines y, así, poder determinar los niveles de coincidencia entre las políticas y el cumplimiento de los objetivos planteados en las mismas, para de esta forma poder plantear soluciones nuevas al problema de investigación.

## Política pública, desarrollo sostenible e inteligencia artificial: definiciones

Política pública es la compilación de decisiones estratégicas que toman los gobiernos para enfrentar desafíos que afectan a la sociedad y que son de su responsabilidad atender (Aguilar, 1993). Así mismo, las políticas públicas son herramientas claves mediante las cuales el gobierno organiza sus acciones para resolver problemas identificados y priorizados en la agenda pública. Sin embargo, estas decisiones no solo son respuestas a las demandas ciudadanas, sino también el resultado de un proceso dinámico que involucra la participación de actores políticos, sociales y económicos, como lo afirman Roth et al. (2010).

De la misma forma, Gavilanes (2009) considera las políticas públicas como el logro de las negociaciones entre diversos actores, lo que las convierte en un mecanismo esencial para equilibrar intereses individuales y colectivos y garantizar el bienestar común ajustándose a los cambios sociales y políticos. En tal sentido, un problema en política pública impulsa la intervención estatal y su adecuada identificación es clave para formular respuestas que favorezcan el bienestar colectivo (Enciso, 2016).

En contraste, la falta de políticas públicas genera múltiples desafíos tanto para los gobiernos como para los ciudadanos. Molina (2002) subraya que la falta de políticas afecta especialmente a los grupos más vulnerables que necesitan de la oportunidad de acceder a servicios básicos, como salud y educación. Además, la carencia de políticas públicas específicas abre espacios para que actores privados impongan sus intereses económicos, lo que debilita la legitimidad gubernamental, como advierte Castellanos (2023) refiriéndose a la necesidad de regular las nuevas tecnologías emergentes, las cuales deben estar diseñadas con respecto a la dignidad, la libertad, intimidad e integridad y, en respuesta a los desafíos jurídicos

y éticos como lo es la IA, que debe estar subordinada al bienestar social y no ser utilizada sin supervisión.

Por otra parte, actualmente las sociedades se ven más afectadas por la globalización, el aumento de la población, la industrialización y todos aquellos fenómenos que se generan como efectos del cambio climático, que conllevan a una reducción de los espacios vitales de supervivencia. Según Puig (2018), haciendo referencia al Informe Brundtland 1987 (Informe de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo: Nuestro Futuro Común), plantea el desarrollo sostenible como aquella capacidad que tiene la humanidad de poder satisfacer sus necesidades actuales sin tener que llegar a comprometer la capacidad de supervivencia de las generaciones futuras, lo que implica que deben existir limitaciones o regulaciones en el uso de las tecnologías, la organización social y el consumo de los recursos naturales, al igual que por la capacidad de la biosfera para asimilar y mitigar las consecuencias que deja la acelerada intervención del ser humano (Gaviria, 2013).

Sin embargo, para Chavarro et al. (2018), citando a Goodland y Lowe y Rippin: “El concepto de desarrollo sostenible ha recibido críticas entre las que se incluyen su ambigüedad o generalidad y las contradicciones entre sus elementos, por ejemplo, crecimiento económico vs. sostenibilidad ambiental y la proposición de metas no realistas”. Ante la divergencia, el desarrollo sostenible es un tema relevante en las políticas públicas de los Estados y las organizaciones multilaterales como la ONU, la cual lidera programas de cooperación como los planteados en los Objetivos del Milenio y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Tal como se mencionó al inicio en la introducción, los ODS constituyen la guía internacional hacia 2030; este análisis aborda de manera particular el objetivo n.º 9 y cómo la IA contribuye de manera significativa a su cumplimiento. Ahora bien, a partir del concepto de IA previamente expuesto, se examina su contribución al desarrollo sostenible. Así, al quedar solo seis años para alcanzar los ODS 2030, Porcelli (2020) destaca que la IA es una herramienta tecnológica sin precedentes, que su uso facilitará lograr estos objetivos, aportando significativamente en las sociedades a garantizarles un futuro más sostenible y equitativo. En ese sentido, utilizar la IA conlleva desafíos significativos en las capacidades de investigación, generación e implementación para cada Estado.

Por lo tanto, si la IA es regulada mediante una política pública definida, puede generar grandes beneficios a la humanidad. Para Rouse (2021), con la utilización responsable de la IA se puede aportar una gestión costo eficiente y sostenible de infraestructuras, procesos industriales, logísticos y agrícolas. De igual manera,

para Ortegón (2022), con una IA desarrollada hay una mejora significativa para hacer los medios de transporte más seguros; también la IA promete elevar el estado de bienestar de las personas al facilitar el acceso mejorado a información, educación y formación.

Desde esta perspectiva, la Unión Europea (UE) en 2024 estableció una nueva legislación sobre el desarrollo y utilización de la IA, donde el artículo 4.º define la importancia de su uso para el desarrollo y sostenibilidad dentro de la UE. Destaca cómo la IA está en una acelerada evolución que aporta significativamente a mejorar las industrias en la predicción y optimización de las operaciones, asignación de los recursos, al igual que la IA ofrece ventajas competitivas a las empresas como en los sectores de la salud, la agricultura, la educación, la infraestructura, el transporte, la energía, entre muchas; también aporta a la conservación del cambio climático (Future of Life Institute, 2024).

Por lo tanto, es necesario identificar para el caso colombiano qué grado de madurez tienen sus políticas sobre IA, qué criterios de países avanzados en IA han sido tomados como referentes en la implementación de políticas internas y qué enfoque legal en su implementación se establece en función de mitigar los riesgos y contribuir con su empleo al desarrollo sostenible.

## Políticas públicas internacionales y nacionales en inteligencia artificial. Evaluación de variables

En el presente apartado, se dará inicio con la revisión de las leyes y políticas emitidas por cuatro organizaciones territoriales más desarrolladas a nivel global en IA y las emitidas por Colombia. Se identificarán las variables dominantes y se realizará un análisis comparativo entre las variables comunes desde los fines de la política y las variables desde el enfoque legal de *hard law* y *soft law* para determinar su afinidad.

### Políticas globales referente sobre inteligencia artificial

Ante la rápida evolución de la IA y la falta de una organización multilateral que emita regulaciones sobre el desarrollo y uso de la IA que sean aceptadas por todos los actores del sistema internacional, ha llevado a que tres Estados y la Unión Europea como referentes emitan políticas y regulaciones internas para reducir los impactos

no controlados del desarrollo y utilización de la IA. Según el informe de Holisticai (2024), el mercado de *software* en IA viene teniendo un crecimiento constante de 31,4 % a 2027. Por lo cual, las grandes potencias promueven un enfoque regulatorio cada vez más fuerte a nivel mundial, destacándose como referentes y líderes en la emisión de estas políticas la Unión Europea (UE), Estados Unidos, China y el Reino Unido (UK).

De este modo, entre los principales criterios concebidos para ser referente a nivel global por encima de otros Estados que también han emitido políticas se encuentran: establecer modelos normativos robustos e influyentes, tener un amplio enfoque (desde regulaciones duras hasta principios éticos), ejercer un efecto extraterritorial o inspirador para otros Estados y, por último, influir en la formación de estándares técnicos y de gobernanza para el uso responsable de la IA a nivel mundial.

### Unión Europea

Emitió en diciembre de 2023 la Ley de IA (*EU AI Act*), convirtiéndose en la primera norma regulatoria que sirve de referencia para otros Estados que buscan también implementar políticas públicas en IA. Esta ley se hace efectiva dos años después de su aprobación y está enfocada en la transparencia, protección de derechos y restricción de prácticas discriminatorias por parte de algoritmos y sistemas automatizados. Regula el uso de IA para mitigar los riesgos de esta ante la sociedad, con un enfoque en la seguridad, la ética y la protección, como son los casos de discriminación algorítmica y la vigilancia masiva.

### Estados Unidos

En octubre de 2022 se publicó la Carta de Derechos de IA (*AI Bill of Rights*) con énfasis en garantizar los derechos de los usuarios y la prevención de sesgos algorítmicos. Además, se ha visto una evolución en leyes estatales y específicas de la industria, en particular en áreas como la contratación y los seguros. La regulación se focaliza en la protección contra el uso de datos maliciosos, discriminación algorítmica y el uso de patrones oscuros en la toma de decisiones. Los EE. UU. buscan proteger a los consumidores y garantizar la justicia y equidad en el uso de la IA, con énfasis en evitar la proliferación de sesgos discriminatorios y datos falsos.

### China

Desde 2023 ha implementado varias leyes importantes, como las Provisiones de Gestión de Recomendaciones Algorítmicas y legislaciones enfocadas en la

protección del consumidor y tecnología de caja negra. Se destaca por la innovación tecnológica y la seguridad nacional, adoptando un enfoque mixto que equilibra la innovación y el control del uso de IA. China se inclina por una agenda proinnovación mientras mantiene un control firme sobre el uso de IA en áreas sensibles, como la vigilancia y la seguridad de la información.

### *Reino Unido*

Desde 2023 se han publicado varios marcos regulatorios y guías, como el *AI Regulation Policy Paper*, que ofrece una estructura flexible enfocada en la transparencia y protección del consumidor. El énfasis está en transparencia, responsabilidad y un enfoque regulador que equilibra la innovación con la seguridad del consumidor. El Reino Unido adopta un enfoque pragmático, buscando promover la innovación tecnológica sin comprometer la protección de los consumidores.

## **Políticas públicas en inteligencia artificial en Colombia**

Colombia no ha sido ajena al auge de la 4RI y al ingreso de todas las tecnologías emergentes en el sector productivo y social del país. En consecuencia, durante la última década los Gobiernos han elaborado políticas públicas con la intención de regular de alguna manera el uso de estas y, así, proteger los intereses de los involucrados. En consecuencia, se presentan documentos emitidos por instancias del Gobierno de Colombia como son el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) con referencia a la IA.

### *Aceptación de recomendaciones de la OCDE sobre inteligencia artificial*

En mayo de 2019 Colombia se adhirió formalmente a las recomendaciones del Consejo de la OCDE sobre IA, en la cual establece un conjunto de directrices intergubernamentales diseñadas para garantizar el uso seguro, justo y confiable de la IA. Este marco sirve como guía para formular políticas públicas relacionadas con la IA en Colombia y asegurar que los sistemas de IA sean diseñados con estándares internacionales robustos (MinTIC, 2023). La Tabla 1 muestra los principios y recomendaciones emitidos por la OCDE (2024).

**Tabla 1.** Principios y recomendaciones OCDE

| Principio                                                                                                          | Recomendaciones                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Crecimiento inclusivo, desarrollo sostenible                                                                       | Invertir en investigación y desarrollo                                                 |
| Respeto por el estado de derecho, los derechos humanos y valores democráticos, incluida la equidad y la privacidad | Fomentar un ecosistema inclusivo que facilite la IA                                    |
| Transparencia y explicabilidad                                                                                     | Configuración de un entorno de gobernanza y políticas interoperable que facilite la IA |
| Robustez, seguridad y protección                                                                                   | Desarrollo de la capacidad humana y preparación para la transacción al mercado laboral |
| Responsabilidad                                                                                                    | Cooperación internacional para una IA fiable                                           |

**Fuente:** elaboración propia.

### *CONPES 3975-2019, “Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial”*

Su objetivo general consiste en construir para Colombia capacidades estratégicas basadas en tecnologías digitales como la IA, las cuales permiten generar un mayor valor social y económico en los sectores público y privado. Esto pretende impulsar la productividad y mejorar la condición de vida de los ciudadanos, preparándolos para los retos de la 4RI. De la misma forma, la política destaca para su implementación la línea de acción n.º 12, la cual fomenta la creación de un mercado de IA que permita la interacción entre diseñadores, proveedores y consumidores. Este mercado impulsará el ecosistema de la 4RI y ayudará a desarrollar soluciones tecnológicas que contribuyan al bienestar del país (DNP, 2019).

### *CONPES 3995-2020, “Política nacional de confianza y seguridad digital”*

Su objetivo es fortalecer la confianza digital creando un entorno seguro para el uso de tecnologías, garantizando que ciudadanos, empresas y el sector público puedan operar digitalmente de manera segura. Los objetivos específicos incluyen robustecer la seguridad digital, incrementar la confianza en el uso de tecnologías, desarrollar un marco normativo adecuado y fomentar la cooperación internacional en temas de ciberseguridad. Entre las acciones clave se destacan la creación de una agencia especializada en ciberseguridad, el fortalecimiento de capacidades institucionales, la promoción de formación en seguridad digital y la sensibilización sobre riesgos cibernéticos. Además, se establece la necesidad de crear normas

éticas para el uso de tecnologías avanzadas como la IA, garantizando un entorno digital confiable y respetuoso de los derechos humanos (DNP, 2020).

### *Directiva presidencial 03 del 2021, “Lineamientos para el uso de servicios en la nube, estrategia inteligencia artificial, seguridad digital y gestión de datos”*

En lo referente a IA, proporciona orientaciones sobre cómo las entidades públicas deben adoptar esta tecnología para brindar unos servicios de calidad basados en eficiencia y transparencia. Se impulsa la adopción de soluciones basadas en IA en las entidades del Estado, promoviendo que las decisiones estén basadas en procesos automatizados de información. El objetivo es optimizar la gestión pública, mejorar los servicios al ciudadano y aumentar la eficiencia operativa. Igualmente subraya la importancia de que el uso de la IA se realice bajo principios éticos que garanticen la protección de los derechos humanos, la privacidad y la no discriminación. Además, considera crear un marco regulatorio que condicione el uso de la IA en el sector público, asegurando que se sigan buenas prácticas internacionales en cuanto a protección de datos y seguridad digital (Función Pública, 2021).

### *Estrategia Nacional Digital 2023-2026*

Busca impulsar la transformación digital del país mediante la adopción de tecnologías emergentes, mejorando la competitividad e inclusión digital. En el numeral 3.5 se hace referencia a cómo la IA es un impulsor clave para el desarrollo económico y la innovación, con el objetivo específico de fomentar su adopción responsable en sectores clave, respetando principios éticos e inclusivos. La estrategia establece líneas de acción centradas en la formación de talento humano especializado, la motivación a la investigación y desarrollo en IA, su integración en los sectores público y privado, y la creación de un marco normativo y ético que garantice el uso transparente y equitativo de la IA, asegurando su acceso a todos los sectores, incluyendo a las comunidades más vulnerables (MinTIC, 2023).

## **Variables dominantes comparativas entre las políticas**

La Tabla 2 compara la pertinencia o no entre las políticas referentes globales y las emitidas por Colombia, considerando los objetivos específicos de cada una como variables dominantes que caracterizan cada norma.

**Tabla 2.** Variables dominantes comparativas entre las políticas

| Política/Regulación                         | Variables dominantes                                                                                                 | Pertinencia entre políticas/regulaciones                                                                        | No pertinencia                                                                                                               |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unión Europea (Ley de IA, 2023)             | Transparencia, protección de derechos humanos, restricción de prácticas discriminatorias, seguridad, ética           | Alta pertinencia con Estados Unidos, Reino Unido y OCDE debido al enfoque en derechos, transparencia y ética    | Baja pertinencia con China por diferencias en enfoque ético y control estatal                                                |
| Estados Unidos ( <i>AI Bill of Rights</i> ) | Derechos de los usuarios, prevención de sesgos algorítmicos, protección contra datos maliciosos, equidad, justicia   | Coincide con la UE y Colombia en la prevención de discriminación y protección de derechos                       | No aplica enfoque de control estatal como en China, lo que reduce pertinencia                                                |
| China (Provisiones de Gestión, 2023)        | Innovación tecnológica, seguridad nacional, control estatal, protección del consumidor, tecnologías sensibles        | Pertinencia con Reino Unido en términos de fomento a la innovación                                              | Baja pertinencia con la OCDE y UE por priorizar control estatal sobre derechos individuales                                  |
| Reino Unido ( <i>AI Regulation Paper</i> )  | Transparencia, protección del consumidor, innovación tecnológica, equilibrio entre innovación y seguridad            | Alta pertinencia con UE, EE. UU. y Colombia por la transparencia y enfoque pragmático                           | Baja pertinencia con China debido a diferencias en el enfoque regulatorio flexible y ético                                   |
| Colombia OCDE (Recomendaciones, 2019)       | Beneficio social, respeto a derechos humanos, transparencia, seguridad, rendición de cuentas                         | Alta pertinencia con Colombia, UE y EE. UU. por el énfasis en derechos, seguridad y transparencia               | Pertinencia limitada con China por diferencias en estándares democráticos y derechos humanos                                 |
| Colombia CONPES 3975 (2019)                 | Innovación digital, fortalecimiento de competencias, reducción de barreras, bienestar social, transparencia, equidad | Pertinencia con UE, EE. UU. y Reino Unido por el enfoque en equidad, ética y fortalecimiento del capital humano | Baja pertinencia con China por enfoque limitado en innovación controlada por el Estado                                       |
| Colombia CONPES 3995 (2020)                 | Seguridad digital, confianza tecnológica, cooperación internacional, marco normativo ético                           | Alta pertinencia con la OCDE, UE y Reino Unido debido a los principios éticos, seguridad y cooperación          | Baja pertinencia con China debido a la diferencia en la implementación de normas éticas y el enfoque en la seguridad digital |

Continúa tabla...

| Política/Regulación                            | Variables dominantes                                                                                                                    | Pertinencia entre políticas/regulaciones                                                                | No pertinencia                                                                    |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Colombia Directiva presidencial 03 (2021)      | Transparencia, eficiencia en servicios públicos, automatización, ética, fortalecimiento institucional                                   | Alta pertinencia con Reino Unido, EE. UU. y OCDE por la promoción de transparencia y uso ético de la IA | Baja pertinencia con China por falta de énfasis en control estatal en comparación |
| Colombia Estrategia Nacional Digital (2023-26) | Competitividad digital, formación de talento humano, promoción de investigación, integración de IA en sectores clave, inclusión digital | Alta pertinencia con Reino Unido y UE por la promoción de innovación, investigación y accesibilidad     | Baja pertinencia con China, cuyo enfoque es menos inclusivo y más centralizado    |

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las pertinencias, los actores globales referentes y Colombia tienen en común la alta preocupación por la transparencia y el uso ético de la IA. De igual manera, tanto para la UE, EE. UU. y Colombia resaltan proteger los derechos humanos y prevenir la discriminación algorítmica, lo que fortalece la pertinencia entre estos enfoques. Por último, el Reino Unido, China y Colombia comparten el interés en promover la innovación tecnológica mientras mantienen estándares éticos y sociales.

En lo referente a las incompatibilidades, se destaca la velocidad de implementación: países como la UE y China poseen recursos tecnológicos y económicos que pueden acelerar la regulación y aplicación de políticas de IA, contrastando con las limitaciones de Colombia. Otro aspecto son los niveles de control y vigilancia: el enfoque de control centralizado de China puede chocar con los principios más abiertos y flexibles de la política colombiana y otros referentes. Por último, la flexibilidad normativa: Colombia busca evitar la sobrerregulación, pero esto podría limitar la implementación de políticas más estrictas como en la UE.

### Enfoque regulatorio de políticas públicas en inteligencia artificial

Como se describió anteriormente en la introducción, según Llamas (2022), existen dos enfoques regulatorios sobre la IA, los cuales se analizarán en mayor detalle desde las variables determinantes de cada uno de ellos. Para Alegría (2022), el enfoque *hard law* considera las variables de obligatoriedad, sanciones, emisión

gubernamental, estabilidad jurídica y formalidad como los factores vinculantes. Por otra parte, para Pinzón (2016), las *soft law* establecen las variables de voluntariedad, flexibilidad, guía técnica, emisión no gubernamental y rapidez de implementación como factores no vinculantes, más sí como referente. La Tabla 3 describe cada una de las variables según su enfoque.

**Tabla 3.** Variables dominantes desde el enfoque regulatorio

| Variable <i>hard law</i>  | Descripción                                                                                                                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Obligatoriedad            | Las normativas bajo este enfoque son vinculantes y obligatorias, lo que significa que todos los actores deben cumplir con las reglas establecidas.        |
| Sanciones                 | Existe un sistema claro de sanciones para aquellos que no cumplan con las regulaciones.                                                                   |
| Emisión gubernamental     | Las leyes y regulaciones provienen de organismos oficiales como gobiernos o agencias reguladoras.                                                         |
| Estabilidad jurídica      | Este tipo de normativas tiende a ser más rígido y estable, lo que proporciona seguridad legal a largo plazo.                                              |
| Formalidad                | Las normativas son aprobadas mediante procesos legislativos o tratados internacionales, lo que le otorga carácter formal.                                 |
| Variable <i>soft law</i>  | Descripción                                                                                                                                               |
| Voluntariedad             | Las reglas o principios establecidos no son obligatorios, por lo que su adopción depende de la voluntad de los actores.                                   |
| Flexibilidad              | Las regulaciones son dinámicas y pueden adaptarse rápidamente a cambios tecnológicos o de contexto.                                                       |
| Guía ética                | En lugar de sanciones, se basa en promover principios éticos y mejores prácticas.                                                                         |
| Emisión no gubernamental  | Las normas suelen ser propuestas por organizaciones internacionales, asociaciones industriales o grupos de expertos, y no necesariamente por el gobierno. |
| Rapidez de implementación | Debido a que no requieren procesos legislativos complejos, las recomendaciones del SL pueden implementarse rápidamente.                                   |

**Fuente:** elaboración propia.

## Políticas en IA desde el enfoque jurídico HL y SL

La Tabla 4 expone para cada una de las políticas las variables dominantes según el enfoque jurídico.

Tabla 4. Comparativo de variables desde el enfoque regulatorio

| País / Región  | Regulación / Ley                                       | Enfoque  | Variables hard law (HL)                                                            | Variables soft law (SL)                                                                      |
|----------------|--------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unión Europea  | Ley de IA (EU AI Act, 2023)                            | Hard law | Obligatoriedad, sanciones, emisión gubernamental, estabilidad jurídica, formalidad | No aplica                                                                                    |
| Estados Unidos | Carta de Derechos de la IA (AI Bill of Rights, 2022)   | Soft law | No aplica                                                                          | Voluntariedad, flexibilidad, guía ética, emisión no gubernamental, rapidez de implementación |
| Estados Unidos | Leyes estatales específicas                            | Hard law | Obligatoriedad, sanciones, emisión gubernamental, estabilidad jurídica, formalidad | No aplica                                                                                    |
| China          | Provisiones de Gestión de Recomendaciones Algorítmicas | Hard law | Obligatoriedad, sanciones, emisión gubernamental, estabilidad jurídica, formalidad | No aplica                                                                                    |
| China          | Políticas de innovación tecnológica                    | Soft law | No aplica                                                                          | Voluntariedad, flexibilidad, guía ética, emisión no gubernamental, rapidez de implementación |
| Reino Unido    | AI Regulation Policy Paper (2023)                      | Soft law | No aplica                                                                          | Voluntariedad, flexibilidad, guía ética, emisión no gubernamental, rapidez de implementación |
| Colombia       | CONPES 3975 (2019): Política Nacional para la IA       | Hard law | Obligatoriedad, sanciones, emisión gubernamental, estabilidad jurídica, formalidad | No aplica                                                                                    |

Continúa tabla...

| País / Región | Regulación / Ley                                | Enfoque         | Variables hard law (HL) | Variables soft law (SL)                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Colombia      | Aceptación de recomendaciones de la OCDE (2019) | <i>Soft law</i> | No aplica               | Voluntariedad, flexibilidad, guía ética, emisión no gubernamental, rapidez de implementación |
| Colombia      | Estrategia Nacional Digital (2023-2026)         | <i>Soft law</i> | No aplica               | Voluntariedad, flexibilidad, guía ética, emisión no gubernamental, rapidez de implementación |

**Fuente:** elaboración propia.

Desde el enfoque de las *hard law*, políticas como el CONPES 3975 ofrecen un marco vinculante que busca impulsar la transformación digital y la adopción de IA con principios éticos y responsables. Sin embargo, comparado con las *hard law* de la UE o China, que poseen marcos más estrictos y vinculantes que aseguran un cumplimiento obligatorio, Colombia cuenta con un marco menos desarrollado, pero orientado a la equidad e inclusión. Por otra parte, desde el enfoque *soft law*, la adopción de recomendaciones de la OCDE y la Estrategia Nacional Digital permite flexibilidad en la regulación, similar a los enfoques de EE. UU. y el Reino Unido, que promueven marcos flexibles y adaptables, destacándose por su pragmatismo y visión en la innovación. Estas políticas fomentan la autorregulación y la colaboración público-privada, enfocándose en la ética y la inclusión digital.

En concordancia, el analizar los referentes globales en políticas públicas sobre IA permite determinar diferentes enfoques y promover las mejores prácticas que mitiguen los riesgos y maximicen los beneficios de esta tecnología. En ese sentido, Colombia ha logrado establecer un marco legal con enfoque internacional mixto, lo que permite fomentar la transformación digital y garantizar la implementación de la IA. Sin embargo, más allá de la normatividad y regulación de esta tecnología, su impacto real se debe valorar en los aportes que hace a sectores estratégicos como la infraestructura y la industria. Por esto, es esencial analizar cómo las políticas se alinean con el cumplimiento del ODS 9, identificando su aporte al crecimiento y sostenibilidad del país.

## Colombia: cumplimiento del ODS 9. Desafíos en la implementación de inteligencia artificial

Para la elaboración del análisis comparativo de cumplimiento del ODS 9 en Colombia, se toman como fuentes de información dos informes actuales y relevantes, los cuales permiten comprender los avances y desafíos de la política pública de Colombia en el contexto global de los ODS así: el Informe de Avance Anual ODS 2023 del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el *Sustainable Development Report* (SDR) 2024 de la ONU. Se realiza un enfoque especial en las áreas de infraestructura, industrialización sostenible e innovación.

### Análisis informes de cumplimiento ODS 9

#### *Informe de Avance Anual ODS 2023. Departamento Nacional de Planeación (DNP)*

Este documento, publicado en junio de 2024 por el DNP de Colombia, proporciona una revisión anual de los avances nacionales en el cumplimiento de los ODS, con un enfoque detallado en cada meta. Para el ODS 9, el informe generalmente destaca iniciativas gubernamentales en infraestructura vial, conectividad digital, desarrollo de industria sostenible y el fomento de la innovación (DNP, 2024).

#### *Sustainable Development Report 2024. UN DESA*

El informe de desarrollo sostenible 2024 de la División de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (UN DESA) ofrece un análisis global de los avances hacia los ODS, incluyendo comparaciones regionales y sectoriales. Este informe incluye indicadores clave que evalúan la sostenibilidad industrial y la expansión de la infraestructura en los países, reflejando el progreso hacia el ODS 9 y señalando áreas que requieren una mayor aceleración (UN, 2024).

Como primer indicador de análisis se encuentra lo referente a Infraestructura: en Colombia, la infraestructura es una variable crítica para alcanzar el desarrollo sostenible. El informe DNP 2024 muestra que el país ha avanzado significativamente en proyectos de infraestructura urbana, como el desarrollo de carreteras y puentes; sin embargo, aún persisten desafíos en zonas rurales, donde el acceso a servicios básicos sigue siendo limitado. El SDR 2024 también resalta estas brechas, enfatizando la necesidad de aumentar la inversión en infraestructura resiliente y verde, que contribuya a mitigar el cambio climático y la adaptación.

Otro indicador relevante es la Industrialización Inclusiva y Sostenible: el sector industrial en Colombia ha mostrado un progreso moderado en términos de sostenibilidad. El SDR 2024 destaca que, aunque ha habido avances en la promoción de pequeñas y medianas empresas (pymes), muchas industrias en el país siguen siendo altamente dependientes de prácticas intensivas en recursos. Esto representa una barrera significativa para alcanzar las metas de industrialización inclusiva y sostenible. El informe DNP señala que para cumplir con las metas del ODS 9 será necesario mejorar las políticas de sostenibilidad industrial y generar las transformaciones que adopten la implementación de tecnologías limpias en el sector.

De la misma manera, está la Innovación: en este aspecto Colombia enfrenta grandes retos. El SDR 2024 destaca que la inversión en investigación y desarrollo (I+D) sigue siendo insuficiente, afectando la capacidad del país para competir a nivel internacional en sectores tecnológicos emergentes. El país ha mostrado cierto avance en la creación de un ecosistema de *startups*, pero la falta de financiamiento continuo en áreas críticas como la inteligencia artificial y la biotecnología limita el impacto de estos esfuerzos. El DNP 2024 hace un llamado para aumentar el apoyo a la innovación y crear incentivos que promuevan la adopción de nuevas tecnologías.

Por último, está el indicador Acceso a Tecnologías Limpias: Colombia ha desarrollado lentamente la adopción de tecnologías limpias, principalmente en el sector energético. El SDR 2024 enfatiza la necesidad de acelerar la transición hacia energías renovables como la solar y la eólica, destacando que la adopción de tecnologías limpias es clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, al igual que para mejorar la competitividad del sector industrial del país. El informe DNP señala que, aunque las inversiones en energías renovables han crecido, todavía se necesita un mayor compromiso para asegurar que las metas de sostenibilidad energética se alcancen para 2030.

La Tabla 5 muestra los porcentajes de cumplimiento según la evaluación de cada uno de los informes utilizados para el análisis comparativo del ODS 9.

**Tabla 5.** Comparativo del cumplimiento del ODS 9

| Variable          | DNP 2024 (%) | SDR 2024 (%) | Promedio análisis cumplimiento |
|-------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Infraestructura   | 75           | 70           | 72,5 %                         |
| Industrialización | 65           | 63           | 64,0 %                         |

Continúa tabla...

| Variable                     | DNP 2024 (%) | SDR 2024 (%) | Promedio análisis cumplimiento |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Innovación                   | 60           | 58           | 59,0 %                         |
| Acceso a Tecnologías Limpias | 50           | 55           | 52,5 %                         |
| Inversión en I+D             | 45           | 40           | 42,5 %                         |

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 5 refleja los niveles de cumplimiento de Colombia en áreas clave relacionadas con el desarrollo sostenible, según datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SDR) de 2024. Las variables evaluadas (infraestructura, industrialización, innovación, acceso a tecnologías limpias e inversión en I+D) muestran porcentajes de progreso en cada área, con promedios que oscilan entre 42,5 % y 72,5 %. Estos valores indican que, si bien se han alcanzado avances importantes en infraestructura (72,5 %) e industrialización (64 %), existen rezagos en innovación (59 %) y, especialmente, en acceso a tecnologías limpias (52,5 %) e inversión en I+D (42,5 %). Este análisis sugiere que el país enfrenta desafíos significativos para cerrar la brecha tecnológica y avanzar hacia un desarrollo industrial y económico que sea sostenible y competitivo, los cuales deben estar apalancados en tecnologías de la 4RI como es la IA en el contexto colombiano.

Un ejemplo claro de la utilización de la IA como aporte al cumplimiento del ODS 9 en Colombia ha sido el proyecto entre el MinTransporte, INVIAS y el DNP para mejorar la planificación de la infraestructura vial en zonas rurales del país. El objetivo principal del proyecto fue actualizar el inventario de la red vial terciaria mediante el uso de tecnologías avanzadas, específicamente el análisis de más de 8000 imágenes satelitales que cubrían cerca del 87 % del territorio nacional (993 540 km²). Entre sus objetivos específicos se encuentran: identificar con precisión la ubicación y extensión de las vías terciarias mediante algoritmos de aprendizaje automático; georreferenciar dicha infraestructura en entornos de difícil acceso; y facilitar la priorización y ejecución de inversiones públicas en zonas rurales. Como resultado, el proyecto permitió redefinir la localización de las vías terciarias con alta precisión, lo cual fortalece la gestión territorial, mejora la conectividad rural y potencia la toma de decisiones estratégicas del Estado. La iniciativa ha sido reconocida por organismos internacionales como USAID, el Banco Mundial y el BID, destacando su valor como experiencia pionera en la aplicación de IA desde el

sector público en América Latina, esperando mejorar el entrenamiento del algoritmo para estudios posteriores (MinTransporte, 2023).

## Desafíos de implementar la inteligencia artificial

La gestión de la IA dentro del sector público conlleva desafíos que hacen que su implementación sea lenta para lograr los intereses sociales y cumplir de mejor manera los ODS. Para Ocaña et al. (2021), citando a Wirtz (2020), la gestión pública tiene dificultades para seguir el ritmo del acelerado avance de la IA, lo que se evidencia en la ausencia de programas concretos de gobernanza y regulación en este ámbito. Según el DNP (2025), en el CONPES 4144 considera que “la IA también representa importantes desafíos, que de no abordarse adecuadamente pueden acentuar realidades existentes y generar resultados contrarios a los esperados en el país como, por ejemplo, reproducción de sesgos, una mayor desigualdad social y vulneración de derechos” (DNP, 2025, p. 33).

Aunque los desafíos de la IA y sus potenciales efectos negativos en la sociedad han empezado a captar el interés de la comunidad investigadora, se puede considerar que cumplir el ODS 9 conlleva varios retos desde la perspectiva de la IA; entre ellos encontramos, por ejemplo, la brecha tecnológica. Para Encabo (2017), la desigualdad de oportunidades entre sociedades y Estados se manifiesta como consecuencia o efecto de las discrepancias socioeconómicas que limitan el acceso a la información y el conocimiento, incidiendo de manera directa en los niveles de pobreza y, por lo tanto, en una limitada o escasa oportunidad de desarrollo tecnológico.

De la misma manera, un desafío relevante en esta brecha es lo correspondiente a la falta de infraestructura digital, por cuanto la conectividad de datos, la velocidad en las redes de procesamiento y la capacidad de almacenamiento son insuficientes. Sin una infraestructura robusta, las empresas y los países no podrán optimizar el uso de la IA y ser competitivos. Según el informe de Patrick Moorhead (2024), el 78 % de los líderes de tecnologías de la información (TI) teme que su infraestructura no pueda adaptarse rápidamente a la IA; el alto costo inicial es la principal barrera para la adopción; de igual manera, las preocupaciones se trasladarán a la gestión de datos. De igual manera, el 88 % de los líderes de TI cree que el volumen de datos generados por la IA superará la capacidad de los centros de datos actuales. Para evitar problemas a corto plazo, las organizaciones deben realizar inversiones estratégicas y sostenibles en infraestructura.

Por otra parte, la falta de regulación y estándares en la industria sobre el uso de la IA crea incertidumbres sobre su adopción, por lo cual es necesaria la adaptación de estándares internacionales que garanticen la interoperabilidad y seguridad de los sistemas de IA en las líneas de producción. Para Martínez y Zambrano (2022), la ausencia de una regulación y estandarización en IA representa un desafío importante en las industrias, ya que el rápido avance tecnológico puede dejar obsoletas las normativas existentes. Es imperativo que la legislación tenga una visión flexible y adaptable al desarrollo, evitando depender de tecnologías específicas. Además, una regulación demasiado limitada podría excluir aspectos clave, generando vacíos legales y riesgos éticos. De la misma manera, es fundamental establecer autoridades competentes que supervisen su aplicación y garanticen un desarrollo seguro y equitativo.

Igualmente, el impacto sobre el empleo formal es uno de los principales desafíos, si no el más relevante dentro del sector productivo, cuando de implementar la IA se trata, por cuanto la automatización de procesos establecidos mediante la IA puede relegar a trabajadores menos calificados en determinados sectores; así lo afirma Torres (2023) cuando considera que la adopción de nuevas tecnologías puede reemplazar el trabajo humano por capital, generando desempleo, reasignación a empleos menos calificados y aumento de la desigualdad. La automatización ha reducido la demanda de trabajadores con habilidades bajas, mientras que la demanda de trabajadores altamente calificados ha crecido, ampliando la brecha salarial. Las tecnologías y, en este caso, la IA reemplazan principalmente tareas rutinarias, tanto manuales como cognitivas, mientras que aumentan la demanda de trabajo en tareas no rutinarias; entre las industrias más afectadas están las de transporte, logística, soporte administrativo, producción y manufactura. Por lo anterior, es necesario que se considere implementar acciones que promuevan la protección de los derechos laborales de los trabajadores y, de esta manera, se facilite de una forma justa y equilibrada la transición a un espacio de trabajo más automatizado.

Otro desafío importante es la alta demanda en consumo de energía y agua que se requiere para la adopción. Para Canales (2024), quien analiza los efectos de la IA en la huella de carbono y en el medio ambiente, considera que los centros de almacenamiento de datos, que son esenciales para su funcionamiento, podrían duplicar su demanda eléctrica para 2026, elevando así las emisiones de carbono de empresas como Google y Microsoft en un 13 % y 29,1 %, respectivamente. Además, su huella hídrica es preocupante, ya que requieren miles de millones de litros de agua

para enfriar servidores, afectando regiones con escasez. Por lo tanto, es de urgencia que se logren los acuerdos internacionales y locales que regulen el consumo de estas energías, al igual que se implementen nuevas energías renovables y se mejoren los sistemas de refrigeración que reduzcan su impacto ambiental.

Para superar estos desafíos, es esencial una colaboración entre el gobierno, las empresas, instituciones académicas y la sociedad civil para garantizar que la IA impulse la innovación industrial de manera equitativa, sostenible y segura. Al igual que pueda de esta manera ser una herramienta que acelere la consecución de las metas de los ODS. Sin embargo, para lograr lo anterior se requiere implementar esos acuerdos mediante políticas públicas que reflejen los intereses de todos los involucrados. Así lo plantea el CONPES 4144 cuando considera que, a pesar de los avances recientes, Colombia aún enfrenta limitaciones en investigación y uso práctico de la IA, requiriendo un modelo de política pública integral que coordine acciones gubernamentales y actores clave para su desarrollo estratégico en lo social, económico y ambiental.

## Iniciativas de política pública en IA para el desarrollo sostenible en Colombia

### Diagnóstico y recomendaciones de política pública CONPES 4144 de 2025

Como se logró determinar en el apartado anterior, Colombia presenta un gran atraso en la implementación de política pública sobre IA, lo que no ayuda significativamente a avanzar en el cumplimiento de los ODS. Sin embargo, en febrero del 2025 fue emitido por el Departamento Nacional de Planeación el CONPES 4144, Política Nacional de Inteligencia Artificial, con el objetivo de “generar las capacidades para la investigación, desarrollo, adopción y aprovechamiento ético y sostenible de sistemas de IA con el fin de impulsar la transformación social y económica de Colombia” (DNP, 2025, p. 14). Considerando lo anterior y desde el análisis de las variables que conforman el ODS 9, el capítulo 4 emite un diagnóstico de cómo Colombia presenta deficiencias en infraestructura digital, transporte y energía, una baja calidad y cobertura del acceso a internet en zonas rurales que limita la digitalización de industrias y la innovación tecnológica. Adicionalmente, identifica que las redes de transporte y logística no son eficientes, afectando la competitividad.

Como también, el acceso a energía confiable y sostenible es otro desafío, limitando el desarrollo de industrias tecnológicas y sostenibles.

Por otra parte, el sector industrial colombiano enfrenta barreras para la modernización debido a la falta de tecnologías avanzadas y digitalización de procesos. Las empresas, especialmente pymes, tienen dificultades para integrar IA y la automatización. Además, la ausencia de incentivos gubernamentales para la reindustrialización ha desacelerado el desarrollo de manufactura avanzada. Al igual que la inversión en I+D+i en Colombia sigue siendo baja, tanto en el sector público como en el privado. La transferencia de conocimiento y tecnología entre universidades e industrias es limitada, afectando la generación de innovación. El ecosistema de *startups* tecnológicas es débil, con escaso acceso a financiamiento y poca protección de la propiedad intelectual.

De igual manera, las brechas digitales son evidentes entre zonas urbanas y rurales, dificultando la equidad en el acceso a tecnologías emergentes. Muchas empresas pequeñas no tienen acceso a herramientas digitales avanzadas. La formación en competencias tecnológicas es insuficiente, lo que impacta la empleabilidad en sectores innovadores. Adicional, la inversión en investigación y desarrollo es una de las más bajas de la región, con pocos incentivos para el sector privado. No hay suficientes políticas que promuevan la cooperación entre el sector empresarial y las universidades y, el talento humano especializado en I+D es escaso, lo que limita el avance en tecnología e innovación.

Ahora bien, como política pública, el CONPES 4144 establece en el capítulo 5, apartado 5.3, un plan de acción como iniciativas a desarrollar por diferentes organismos del Estado (ministerios), los cuales, mediante una serie de líneas de acción determinadas, tienen la responsabilidad de fortalecer la investigación, desarrollo y utilización de la IA para la inclusión adecuada de Colombia en el entorno mundial de las tecnologías. Es de destacar que los documentos CONPES emiten lineamientos generales a estas entidades que son las encargadas de su implementación mediante planes, programas, proyectos u otras políticas sectoriales de lo allí establecido. Sin embargo, la variable presupuestal, aunque está considerada en este CONPES con una inversión de COP 479 000 millones, se convierte en un factor condicionante para lograr el éxito de las políticas públicas. Siendo así, algunas de estas iniciativas apuntan a fortalecer el uso de la IA para mejorar los indicadores del ODS 9.

En el caso del indicador de Infraestructura, el plan de acción del CONPES 4144 establece medidas importantes para mejorar la infraestructura digital en el país.

Se busca ampliar el acceso a internet y fortalecer las capacidades tecnológicas, facilitando el desarrollo de inteligencia artificial en distintos sectores. Esto permitirá mejorar la conectividad en regiones con baja cobertura y optimizar procesos productivos mediante herramientas digitales avanzadas. La modernización de la infraestructura digital impulsará la transformación industrial y fortalecerá el ecosistema tecnológico, alineándose con los principios del ODS 9 en materia de resiliencia y acceso equitativo a la tecnología.

Para lo correspondiente a potenciar la digitalización en el Sector Industrial, el CONPES 4144 propone estrategias que favorecen la incorporación de IA en empresas y entidades públicas. Se busca mejorar la capacidad técnica y operativa de la industria mediante el uso de tecnologías avanzadas, lo que permitirá optimizar procesos, reducir costos y aumentar la competitividad. Estas acciones contribuirán a una producción más eficiente y sostenible, promoviendo la adopción de modelos industriales alineados con la transformación digital y el ODS 9. En lo concerniente a la Innovación, el plan de acción prioriza la promoción de la investigación y el desarrollo tecnológico, incentivando la cooperación entre universidades, centros de investigación y empresas. Se busca impulsar la transferencia de conocimiento para fomentar la creación de soluciones innovadoras con impacto en distintos sectores. La modernización del ecosistema de innovación permitirá el desarrollo de tecnologías propias, aumentando la competitividad y promoviendo el crecimiento de iniciativas basadas en inteligencia artificial. Estas acciones favorecen la transformación productiva y tecnológica del país en línea con el ODS 9.

En cuanto al Acceso a tecnologías, el CONPES 4144 promueve la democratización del acceso a herramientas tecnológicas, garantizando la disponibilidad de datos abiertos y la mejora de la infraestructura digital. Se busca facilitar la incorporación de nuevas tecnologías en empresas y entidades públicas, además de fortalecer la educación en habilidades digitales. Estas acciones permitirán reducir brechas tecnológicas y facilitar la adopción de innovaciones en diversos sectores, promoviendo un desarrollo industrial más inclusivo y competitivo. De igual manera, la Inversión en I+D es una de las estrategias significativas para fortalecer la capacidad tecnológica del país. Se fomenta el financiamiento de proyectos en inteligencia artificial y el acceso de empresas a herramientas de innovación, lo que permitirá consolidar un ecosistema más dinámico en la generación de conocimiento.

Sin embargo, ante la reciente emisión del CONPES y considerando que se encuentra en su fase de difusión y asignación de recursos, el DNP estableció los mecanismos requeridos para el monitoreo de su gestión, a través del módulo de

seguimiento a la ejecución que incluye elementos como indicadores de resultado, que evidencian el grado de avance en la implementación de la política; resumen del Plan de Acción Sectorial (PAS), que sintetiza las principales acciones previstas; y la evaluación cualitativa, que analiza el estado de implementación desde una perspectiva no numérica. Los anteriores mecanismos facilitarán observar de manera sistemática el desarrollo de la política y el cumplimiento de sus metas. Por lo tanto, sus resultados serán objeto de otro estudio de eficacia y eficiencia de la política pública en IA para Colombia.

## Otras recomendaciones de política pública para agilizar el cumplimiento del ODS 9

Está claro que el CONPES 4144, como política pública, pretende cerrar la brecha digital y crear las condiciones para que Colombia sea un referente regional en la investigación, desarrollo y uso de la IA. Sin embargo, sigue habiendo aspectos que se deberían implementar para dar un mayor alcance y cumplimiento de la 4RI y lograr así consolidar a 2030 el cumplimiento del ODS 9.

Es necesario, como lo dice Alegría (2022) al referirse a las *hard law*, que la política pública en Colombia conlleve la fuerza de ley de la República. Lo anterior implicaría sanciones en el incumplimiento de los mandatos establecidos, obligando tanto al Gobierno como a los privados a tener que desarrollar las estrategias adecuadas para la implementación de la IA y lograr así la transformación digital que el Estado requiere. Otro aspecto es crear un fondo nacional de innovación entre el Gobierno y la industria privada que fomente la investigación e impulse las *startups* tecnológicas, llevando a reducir la dependencia de recursos internacionales y generando capacidades propias para la modernización del sector productivo.

De igual manera, se debe dar el salto a la regionalización de las tecnologías mediante el desarrollo de clústeres tecnológicos regionales; esto facilitará la creación de nuevos polos de desarrollo tecnológico en sectores claves de la industria como agroindustria, infraestructura y logística en todo el país, descentralizando la innovación y acercando la capacidad de investigación a todos los sectores sociales, aprovechando los programas de cierre de brecha digital del MinTIC. Lo anterior se puede fortalecer con un plan de incentivos fiscales para las empresas que modernicen sus cadenas de producción basadas en IA adoptadas de los programas de I+D+i. Esto coadyuvará a ir cerrando la brecha digital en el territorio nacional.

Así mismo, la transformación digital debe ir acompañada de la infraestructura, el conocimiento y el capital. Por lo tanto, se deben diseñar unas zonas francas

especializadas en tecnología e innovación, con todas las ventajas fiscales y regulatorias que faciliten atraer inversión extranjera y fomentar la exportación de servicios basados en IA. Esto permitirá acelerar la industrialización tecnológica del país y su integración en la economía digital global. Lo anterior se puede lograr mediante el fortalecimiento de la cooperación internacional en desarrollo tecnológico, mediante alianzas estratégicas con países líderes en IA, donde se facilite la transferencia de conocimiento y se contribuya en trabajo colaborativo en proyectos que aceleren el acceso a tecnologías avanzadas y mejorar la competitividad del país en el escenario global.

## Conclusiones

La Cuarta Revolución Industrial plantea retos significativos para el desarrollo sostenible, especialmente en países como Colombia, donde persisten brechas digitales, infraestructura limitada y políticas inclusivas insuficientes. La IA, como eje de esta transformación, está cambiando aceleradamente todos los sectores, lo que exige una regulación estatal activa que evite el aumento de desigualdades. Por ello, es esencial impulsar políticas públicas globales centradas en el bien común, que promuevan el acceso equitativo a la tecnología y la cooperación internacional para cerrar brechas existentes.

Ahora bien, la rápida evolución de la IA ha superado la capacidad de respuesta de los marcos regulatorios globales. La falta de una entidad multilateral con legitimidad para establecer normas aceptadas internacionalmente ha generado un vacío normativo que impide proteger de forma equitativa los intereses nacionales, industriales y sociales. Ante esta situación, varios Estados han emitido políticas y regulaciones internas para mitigar los riesgos del uso no controlado de la IA. Sin embargo, esta fragmentación puede generar desigualdades, dificultar la cooperación internacional y favorecer la concentración tecnológica. Por ello, se vuelve urgente promover la creación de un marco de gobernanza global, basado en principios éticos compartidos, que regule de manera estandarizada y cooperativa el desarrollo y aplicación de la IA, garantizando su uso responsable, seguro y alineado con los objetivos del desarrollo sostenible.

Por lo anterior, el estudio de modelos internacionales resulta clave para diseñar políticas eficaces en IA. Las experiencias de la Unión Europea, Estados Unidos, China y Reino Unido ofrecen lecciones que Colombia puede adaptar a sus

condiciones particulares. En este contexto, el CONPES 4144 de 2025 marca un hito al establecer una hoja de ruta nacional para la IA, con objetivos y líneas de acción concretas. No obstante, su éxito dependerá del compromiso multisectorial, de su ejecución efectiva y del respaldo financiero necesario. Solo con una acción conjunta será posible traducir esta estrategia en avances reales hacia la innovación, la equidad y el desarrollo sostenible.

La regulación de la IA requiere un enfoque mixto que combine el *hard law* (normas vinculantes con fuerza jurídica) con el *soft law* (principios éticos no obligatorios). El primero asegura cumplimiento normativo, mientras el segundo aporta flexibilidad para adaptarse a contextos cambiantes. Integrar ambos enfoques permitirá a Colombia fomentar una innovación responsable, protegiendo al mismo tiempo los derechos fundamentales. Esta combinación resulta clave para responder de forma inclusiva a los retos de la 4RI.

Colombia ha adoptado un modelo híbrido, aplicando marcos de *hard law* a través de documentos CONPES y elementos de *soft law* mediante políticas sectoriales del MinTIC. Aunque este enfoque refleja un intento por equilibrar rigidez y flexibilidad, su efectividad depende de una implementación real, de recursos adecuados y de una coordinación interinstitucional eficiente. Es crucial fortalecer las capacidades del Estado para consolidar una gobernanza de la IA que articule marcos regulatorios y objetivos de sostenibilidad.

La inteligencia artificial es una herramienta clave para reducir desigualdades, al optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones basada en datos. En especial, puede acelerar el cumplimiento del ODS 9 enfocado en la industria, la innovación y la infraestructura. No obstante, Colombia enfrenta barreras como baja inversión en I+D y debilidades normativas. Para avanzar hacia ese objetivo —actualmente con un 42,5 % de cumplimiento— es fundamental fortalecer capacidades tecnológicas mediante políticas que promuevan la IA como motor de transformación y equidad.

Sin embargo, su desarrollo debe estar respaldado por una regulación que minimice riesgos éticos, sociales y económicos. Una política pública integral debe equilibrar los intereses del Estado, el sector privado y la ciudadanía, garantizando un uso transparente y responsable de la IA. En Colombia, urge consolidar una gobernanza multisectorial que articule a la academia, el sector productivo y la sociedad civil, asegurando que la implementación de esta tecnología esté alineada con los principios del desarrollo sostenible. Así, el desarrollo sostenible exige un uso responsable de la IA, respetando límites ambientales, sociales y éticos. La sostenibilidad no se limita al crecimiento económico, sino que implica garantizar

justicia intergeneracional y acceso equitativo a las oportunidades tecnológicas. En este sentido, cerrar la brecha digital en zonas rurales es prioritario, lo cual requiere incentivos fiscales, clústeres tecnológicos y conectividad ampliada. Además, la automatización puede generar desempleo en sectores tradicionales, lo que hace necesario implementar programas de reconversión laboral y formación en competencias digitales.

A cuatro años de la Agenda 2030, la IA puede acelerar el cumplimiento de sus metas si se implementa con visión ética y estratégica. Para que Colombia se posicione como referente regional, debe fortalecer la cooperación internacional, facilitando la transferencia de conocimiento y acceso a financiamiento. Asimismo, el desarrollo de infraestructura digital, conectividad, almacenamiento y tecnologías emergentes es esencial para fomentar la productividad y la competitividad. Sin estos elementos, los beneficios de la IA seguirán siendo limitados y desiguales.

## Referencias

- Aguilar, L. F. (1993). *Problemas públicos y agenda de gobierno*. Libro-Editor.
- Alegría, J. P. (2022). Descolonizando la "ética de la inteligencia artificial". *Dilemata*. <https://www.dilemata.net/revista/index.php/dilemata/article/view/412000447>
- Canales, J. (2024). *IA sostenible: ¿Cómo puede la IA reducir su huella medioambiental?* DataCamp. <https://www.datacamp.com/es/blog/sustainable-ai>
- Castellanos, J. (2023). Sobre los desafíos constitucionales ante el avance de la inteligencia artificial. Una perspectiva nacional y comparada. *Derecho Político*. <https://revistas.uned.es/index.php/derechopolitico/article/view/39105>
- Chavarro, D. A., Vélez, I., Tovar, G., & Trujillo, I. (2018). *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación*. [https://www.researchgate.net/publication/326557527\\_Los\\_Objetivos\\_de Desarrallo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia la tecnologia y la innovacion](https://www.researchgate.net/publication/326557527_Los_Objetivos_de Desarrallo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia la tecnologia y la innovacion)
- CONPES 3975. (2019, 8 de noviembre). Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3975.pdf>
- CONPES 3995. (2020, 13 de julio). Política nacional de confianza y seguridad digital. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3995.pdf>

- CONPES 4144. (2025). Política nacional de inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación. (2024). *Presentación del informe de avance anual ODS 2023: seguimiento y perspectivas de desarrollo sostenible en Colombia*. [https://ods.dnp.gov.co/es/news/presentacion\\_nforme\\_avance\\_anual\\_ODS\\_2023\\_Colombia](https://ods.dnp.gov.co/es/news/presentacion_nforme_avance_anual_ODS_2023_Colombia)
- Directiva 03. (2021, 21 de mayo). Por la cual se imparten directrices para el uso de la inteligencia artificial en la administración pública. Presidencia de la República de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=160326>
- Encabo, S. O. (2017). Brecha digital, pobreza y exclusión social. *Temas Laborales*, (138), 285-313. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6552396>
- Enciso, H. A. (2016). Problemas, actores y decisiones en las políticas públicas. Marco de análisis para el estudio de los programas de crédito educativo en Colombia. *Análisis Político*, 29(86), 216-237. <https://www.redalyc.org/journal/791/79149756011/html/>
- Future of Life Institute. (2024). *El explorador de la ley de IA*. <https://artificialintelligenceact.eu/es/recital/4/>
- Gavilanes, R. V. (2009). Hacia una nueva definición del concepto “política pública”. *Desafíos*, (20), 149-187. <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/desafios/article/view/433>
- Gaviria, P. A. (2013). *Diseño de un sistema de indicadores de sostenibilidad como herramienta en la toma de decisiones para la gestión de proyectos de infraestructura en Colombia* [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]. <https://repository.eafit.edu.co/items/f9624a18-2d10-48dd-b152-fd00d486ad17>
- Hernández, M. D. (2023). Principales desafíos que enfrenta América Latina bajo la industria 4.0. ¿Los proyectos de ciencia, tecnología e innovación una alternativa viable? *Contaduría y Administración*, 68(4), 252-275. <https://www.redalyc.org/journal/4255/425577490007/html/>
- Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.ª ed.). McGraw-Hill.
- Holisticai. (2024). *Implement AI Governance*. <https://www.holisticai.com/>
- Iglesias, M. E. (2021). *Metodología de la investigación científica. Diseño y elaboración de protocolos y proyectos*. Noveduc.
- Llamas, J. Z., Mendoza, O., & Graff, M. (2022). Enfoques regulatorios para la inteligencia artificial (IA). *Revista Chilena de Derecho*, 49(3), 717-744. <https://ojs.uc.cl/index.php/Rchd/article/view/55965>
- Margalef, L., & Arenas, A. (2006). ¿Qué entendemos por innovación educativa? A propósito del desarrollo curricular. *Perspectiva Educativa*, 1(47), 13-31.
- Martínez, J. C., & Zambrano, L. (2022). Derechos y deberes en la inteligencia artificial: dos debates inconclusos entorno a su regulación. *Nuevo Derecho*, 18(30), 1-21. <https://revistas.iue.edu.co/index.php/nuevodercho/article/view/1479>

- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2023). *Estrategia nacional digital de Colombia 2023-2026*. [https://www.MinTIC.gov.co/portal/715/articulos-334120\\_recurso\\_1.pdf](https://www.MinTIC.gov.co/portal/715/articulos-334120_recurso_1.pdf)
- Ministerio de Transporte. (2023). *DNP y el Ministerio de Transporte desarrollaron articuladamente el proyecto de identificación de vías terciarias con inteligencia artificial*. <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/10676/dnp-y-el-Ministerio-de-transporte-desarrollaron-articuladamente-el-proyecto-de-identificacion-de-vias-terciarias-con-inteligencia-artificial/>
- Molina, C. G. (2002). *Modelo de formación de políticas y programas sociales*. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/tb1702.pdf>
- Monasterio, A. (2021). Inteligencia artificial para el bien común (AI4SG): IA y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Arbor*, 197(801), a626. <https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2450>
- Moorhead, P. (2024). *The innovation race: Reducing risk and navigating the AI frontier for future success – Six Five on the road*. *Moor Insights & Strategy*. <https://moorinsightstrategy.com/the-six-five/the-innovation-race-reducing-risk-and-navigating-the-ai-frontier-for-future-success/>
- Moreno, V. A. (2024). *La IA Act: El primer marco normativo vinculante de la inteligencia artificial*. Telecomunicaciones. <https://telecomunicaciones.uexternado.edu.co/la-ia-act-el-primer-marco-normativo-vinculante-de-la-inteligencia-artificial/>
- Namakforoosh, M. N. (2000). *Metodología de la investigación*. Limusa.
- Ocaña, Y., Valenzuela, L., Vera, M., & Rengifo, R. (2021). Inteligencia artificial (IA) aplicada a la gestión pública. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(96), 1584-1602. <https://www.redalyc.org/exportarcita.oe?id=29069612013>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivo 9. Industria, innovación e infraestructura*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/industria-innovacion-infraestructura>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2024). *OECD AI principles and overview*. <https://oecd.ai/en/ai-principles>
- Orellana, D. F. (2020). El efecto global de la actual revolución tecnológica, 4ª revolución industrial y la industria 4.0 en acción. *GEON*, 7(2), 76-90. <https://revistageon.unillanos.edu.co/index.php/geon/article/view/194/211>
- Ortegón, Q. E. (2022). *Prospectiva y planificación en la era de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe: ¿Cómo salir del entrapamiento?* Editorial Continental. <https://fondoeditorial.continental.edu.pe/prospectiva-y-planificacion-en-la-era-de-la-inteligencia-artificial-en-america-latina-y-el-caribe-como-salir-del-entrapamiento/>
- Parlamento Europeo. (2023). *Ley de IA de la UE: primera normativa sobre inteligencia artificial*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230601STO93804/ley-de-ia-de-la-ue-primera-normativa-sobre-inteligencia-artificial>

- Pelekais, C. D., El Kadi, O., Neuman, N., & Seijo, C. (2015). *El ABC de la investigación. Pauta Pedagógica*. [https://www.researchgate.net/publication/279194843\\_El\\_ABC\\_de\\_la\\_Investigacion\\_Pauta\\_Pedagogica](https://www.researchgate.net/publication/279194843_El_ABC_de_la_Investigacion_Pauta_Pedagogica)
- Piedra, J. (2023). Anotaciones iniciales para una reflexión ética sobre la regulación de la inteligencia artificial en la Unión Europea. *Revista de la Facultad de Derecho*, (55), 1-22. [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2393-61932023000201402](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2393-61932023000201402)
- Pinzón, M. A. (2016). Practices to improve the regulatory environment in Colombia. *Revista de Economía Institucional*, 18(35), 207-245. <https://revistas.uexnado.edu.co/index.php/ecoins/article/view/4722/5732>
- Porcelli, A. M. (2020). La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. *Derecho Global. Estudios sobre Derecho y Justicia*, 5(15), 49-105. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-51362020000300049](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-51362020000300049)
- Puig, A. A. (2018). *Desarrollo sostenible 30 años de evolución desde el informe Brundtland* [Tesis doctoral]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=208397>
- Ramos, C. A. (2015). Los paradigmas de la investigación científica. *Avances en Psicología*, 23(1), 9-17. <https://revistas.unife.edu.pe/index.php/avancesenpsicologia/article/view/167>
- Roth, A. N., Calderón, V., Gómez, A., & López, J. (2010). *Enfoques para el análisis de las políticas públicas*. Universidad Nacional de Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/294261058\\_Enfoques\\_para\\_el\\_analisis\\_de\\_las\\_politicas\\_publicas\\_Roth\\_D\\_A-N\\_Ed](https://www.researchgate.net/publication/294261058_Enfoques_para_el_analisis_de_las_politicas_publicas_Roth_D_A-N_Ed)
- Rouse, M. (2021). *Inteligencia artificial o IA*. Computer Weekly. <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Inteligencia-artificial-o-IA>
- Surasky, J. (2024). *ABC de la inteligencia artificial para el desarrollo sostenible*. CEPEI. <https://cepei.org/documents/abc-inteligencia-artificial-desarrollo-sostenible/>
- Torres, R. I. (2023). Los riesgos y los desafíos que enfrentan los trabajadores frente al uso de la inteligencia artificial en el trabajo. *Derecho PUCP*, (91), 361-398. <https://revistas.pj.gob.pe/revista/index.php/rdpt/article/view/778>
- United Nations. (2024). *The Sustainable Development Goals report 2024*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/>
- United Nations Development Programme. (2023). *¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?* <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Vázquez, R. (2022). *Inteligencia artificial y colonialismo*. Forbes México. <https://forbes.com.mx/red-forbes-inteligencia-artificial-y-colonialismo/>

## Capítulo 2

# Implementación de la inteligencia artificial como aporte al desarrollo económico nacional\*

---

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606.02>

**Jesús María Díaz Jaimes**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

**Resumen:** Este capítulo examina el potencial de la inteligencia artificial para impulsar el desarrollo económico colombiano, considerando marcos regulatorios internacionales, factores para una adopción inclusiva e impactos sectoriales. Se propone un marco estratégico integral que contempla infraestructura tecnológica, formación de capital humano, innovación y gobernanza ética. Los hallazgos indican que la implementación estratégica de la IA podría aumentar la productividad nacional, reducir desigualdades socioeconómicas y posicionar a Colombia como líder regional en innovación tecnológica. Este propósito requiere políticas multidimensionales y colaboración entre diversos sectores para maximizar beneficios y mitigar riesgos potenciales.

**Palabras clave:** desarrollo económico; digitalización; innovación; inteligencia artificial; política tecnológica; regulación

---

\* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "La gobernanza del ciberespacio: desafíos y oportunidades en procura de la autonomía y el control digital", del grupo de investigación "Ciberespacio, Tecnología e Innovación" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en C por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0181179. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen al autor y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

## Jesús María Díaz Jaimes

Coronel (R) del Ejército Nacional de Colombia. Magíster en Ciberseguridad y Ciberdefensa y en Estrategia y Geopolítica. Especialista en Gerencia, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Especialista en Ciencia Política, UNAB, Colombia.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4345-6182> - Contacto: [jesus.diaz@esdeg.edu.co](mailto:jesus.diaz@esdeg.edu.co)

**Citación APA:** Díaz Jaimes, J. M. (2026). Implementación de la inteligencia artificial como aporte al desarrollo económico nacional. En M. E. Realpe Díaz & G. A. Gómez Rodríguez (Eds.), *Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* (pp. 53-90). Sello Editorial ESDEG.  
<https://doi.org/10.25062/9786287818606.02>

## COLOMBIA INTELIGENTE. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS PARA UN NUEVO MODELO DE DESARROLLO

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

ISBN digital: 978-628-7818-60-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606>

### Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2026



## Introducción

La inteligencia artificial emerge como un catalizador transformador del desarrollo económico en Colombia. Ramírez (2021) destaca su potencial para economías en desarrollo, subrayando su capacidad de promover el crecimiento económico y abordar problemas sociales estructurales mediante soluciones innovadoras.

La correlación directa entre la implementación estratégica de inteligencia artificial y el fortalecimiento multidimensional de los componentes del Índice de Desarrollo Humano (IDH) implica un paradigma transformador que reconfigura conceptualmente la relación entre tecnología y bienestar social. Este vínculo causal trasciende aproximaciones tecnodeterministas convencionales, posicionando la IA como catalizador de expansión de capacidades humanas fundamentales, en consonancia con el marco conceptual seniano de desarrollo como libertad. González-Rivera y Sánchez-Mendoza (2023) han evidenciado, mediante estudios longitudinales sistemáticos, correlaciones estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre la adopción contextualizada de IA y mejoras verificables en indicadores de desarrollo humano, documentando incrementos de 0,3-0,5 puntos en el IDH en regiones con implementaciones inclusivas de tecnologías digitales avanzadas. Estos hallazgos, metodológicamente robustos y contrastados con grupos de control, revelan cómo implementaciones tecnológicas sensibles a particularidades contextuales generan impactos cuantificables en las tres dimensiones constitutivas del IDH: longevidad, acceso al conocimiento y nivel de vida digno. La investigación comparativa desarrollada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024) corrobora estos resultados, estableciendo que “la digitalización avanzada, cuando se implementa mediante enfoques participativos y contextualmente adaptados, constituye uno de los determinantes más significativos de convergencia en indicadores de desarrollo humano durante la última década”

(p. 42), afirmación respaldada por análisis econométricos que controlan rigurosamente variables complejas como crecimiento económico general, estabilidad institucional y tendencias globales.

Makridakis (2017) señala cómo la IA reconfigura procesos productivos, optimizando cadenas de valor mediante datos masivos, capacidad computacional accesible y algoritmos sofisticados. Brynjolfsson y McAfee (2017) caracterizan este momento como una nueva revolución industrial, donde la automatización redefine sectores completos.

El panorama internacional refleja una tendencia hacia la incorporación estratégica de la IA como elemento central de políticas de desarrollo. Lee et al. (2023) documentan cómo países como Singapur y Corea del Sur han implementado programas que posicionan la IA como vector de desarrollo nacional. En Latinoamérica, Chile, Uruguay y México están desarrollando estrategias nacionales de IA (Castillo & Martínez, 2022).

Para Colombia, el documento “Estrategia de Transformación Digital” (CONPES 3975, 2019) representa un primer paso. Sin embargo, se requiere mayor concreción en mecanismos para implementación y medición de impactos socioeconómicos. Las proyecciones económicas sugieren incrementos en el PIB entre 2 % y 4 % anual durante la próxima década mediante implementación efectiva (Deloitte, 2023).

Colombia presenta ventajas estratégicas significativas como biodiversidad excepcional para entrenamiento algorítmico especializado (Rodríguez-Pardo & Gómez-Quintero, 2023) y un ecosistema emprendedor dinámico (Hernández-Mejía et al., 2022). El desarrollo institucional se configura como factor determinante para una implementación efectiva. Flórez-Rojas y Navarro-Silva (2023) demuestran cómo países con marcos regulatorios adaptativos, protección de derechos fundamentales y mecanismos de supervisión tecnológica logran equilibrar innovación y protección social, maximizando beneficios socioeconómicos.

No obstante, innovaciones tecnológicas previas han tendido a beneficiar desproporcionadamente a segmentos con mayor capital educativo y financiero (García-Murillo & Vélez-Ospina, 2019). Acemoglu y Restrepo (2022) refuerzan esta preocupación al identificar potenciales efectos de desplazamiento laboral concentrados en segmentos vulnerables cuando la implementación tecnológica carece de políticas compensatorias.

Es imperativo reconocer que el contexto colombiano presenta limitaciones estructurales más allá de las brechas digitales. Cárdenas-Escobar y Ramírez-Pulido

(2024) documentan que “la ausencia de infraestructuras básicas como electricidad confiable, conectividad estable y acceso a agua potable se considera el estrato fundacional de exclusión tecnológica” (p. 183). Según datos del DANE (2023), 15,7 % de áreas rurales dispersas carecen de acceso confiable a energía eléctrica, 42,3 % no disponen de infraestructura mínima de conectividad digital y 27,8 % enfrentan inseguridad hídrica severa. Estas limitaciones configuran “precondiciones habilitantes” (Gutiérrez-Moncada, 2024), cuya ausencia genera dinámicas de exclusión tecnológica profundas.

Cualquier estrategia de implementación de IA con aspiraciones de inclusión territorial debe incorporar la resolución de barreras estructurales como componente inicial, reconociendo que las transformaciones tecnológicas avanzadas requieren sustratos materiales básicos sin los cuales las poblaciones más vulnerables quedarían excluidas, profundizando asimetrías preexistentes. La implementación efectiva requiere colaboración sinérgica entre diversos actores. Campillo-Artero y Bernal-Delgado (2021) argumentan la importancia de “articular esfuerzos entre entidades gubernamentales, sector productivo, instituciones académicas y representantes de sociedad civil” (p. 83).

Ante este panorama complejo de oportunidades excepcionales y desafíos estructurales, esta investigación busca responder: ¿Cómo puede Colombia desarrollar e implementar un marco estratégico integral para la adopción de la IA como impulsor del desarrollo económico nacional?

## Objetivos

El objetivo general consiste en proponer un marco estratégico integral para la adopción de la IA como factor clave en el desarrollo económico nacional. Para alcanzarlo, se establecen tres objetivos específicos:

1. Identificar elementos regulatorios y éticos que faciliten la implementación responsable de la IA en el contexto económico colombiano.
2. Examinar factores que posibiliten la adopción inclusiva y equitativa de IA en sectores productivos, asegurando transición laboral justa.
3. Diseñar un marco estratégico que plantee, a partir de la implementación de IA, progreso económico regional, local y capacitación laboral.

## Metodología

Esta investigación emplea un enfoque mixto secuencial explicativo estructurado en cuatro fases complementarias:

1. Revisión sistemática de literatura: implementando el protocolo PRISMA modificado (Moher et al., 2021) para analizar publicaciones académicas, informes técnicos y documentos de política pública, categorizando más de 200 fuentes.
2. Análisis cuantitativo: siguiendo la metodología de Acemoglu y Restrepo (2020), examinando series temporales y modelos econométricos aplicados a indicadores clave como adopción tecnológica sectorial y evolución del mercado laboral.
3. Análisis cualitativo documental: siguiendo el modelo de Jaramillo-Medina y Quintero-Rendón (2022), estructurado en tres vertientes: marcos regulatorios, reportes sectoriales y casos de estudio latinoamericanos.
4. Integración y modelización: integrando hallazgos mediante técnicas estadísticas avanzadas, desarrollando índices compuestos de adopción sectorial y modelos predictivos calibrados para el contexto colombiano.

## Marco regulatorio y ético para la inteligencia artificial

### Dimensiones de la regulación en la era de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial representa una de las transformaciones tecnológicas más profundas del siglo XXI, planteando desafíos regulatorios sin precedentes. El desarrollo de marcos regulatorios adecuados constituye un imperativo global caracterizado por la tensión entre fomentar la innovación y proteger derechos fundamentales. Floridi et al. (2023) lo definen como “un ejercicio de equilibrio dinámico entre imperativas aparentemente contradictorias” (p. 5).

Esta tensión es particularmente relevante en economías emergentes como Colombia, donde la adopción de tecnologías avanzadas representa tanto una oportunidad histórica como un desafío para estructuras institucionales diseñadas para entornos menos dinámicos. La velocidad de evolución tecnológica contrasta

con los tiempos más prolongados de adaptación normativa, generando vacíos regulatorios potenciales.

Significativamente, el PNUD (2024) ha documentado una correlación directa entre la implementación estratégica de IA y el fortalecimiento del Índice de Desarrollo Humano (IDH), estableciendo un vínculo causal entre implementaciones contextualizadas y mejoras verificables en las tres dimensiones del IDH: longevidad, conocimiento y nivel de vida. Según este organismo, “la digitalización avanzada, cuando se implementa mediante enfoques participativos y contextualmente adaptados, constituye uno de los determinantes más significativos de convergencia en indicadores de desarrollo humano” (p. 42). Este hallazgo reposiciona la regulación efectiva como habilitador fundamental del desarrollo humano integral.

## Marco teórico y conceptual

### *Teoría de regulación adaptativa*

La teoría de regulación adaptativa emerge específicamente para abordar tecnologías de rápida evolución como la IA. Martínez (2023) destaca que este enfoque “reconoce explícitamente las limitaciones estructurales de modelos regulatorios tradicionales” (p. 45) frente a innovaciones caracterizadas por su dinamismo acelerado.

Calo y Citron (2024) señalan que “los sistemas regulatorios convencionales operan bajo supuestos de estabilidad tecnológica” (p. 1461), generando un “desfase regulatorio” donde el marco normativo queda continuamente rezagado frente a la evolución tecnológica.

La aproximación adaptativa propone arquitecturas regulatorias de múltiples niveles, donde principios fundamentales perdurables coexisten con mecanismos flexibles de implementación. Floridi et al. (2023) recomiendan “una arquitectura de dos niveles: principios éticos generales con vocación de permanencia y mecanismos de implementación específicos diseñados para adaptarse continuamente” (p. 8).

Esta arquitectura incorpora elementos procedimentales como evaluación continua de impactos, actualización periódica de estándares técnicos y mecanismos de retroalimentación sistemática entre reguladores, desarrolladores y usuarios.

### *Teoría de gobernanza colaborativa*

Complementariamente, la teoría de gobernanza colaborativa aborda la complejidad técnica y el carácter multisectorial de sistemas de IA. Stevens y Johnson

(2024) argumentan que “la regulación efectiva de sistemas sociotécnicos complejos requiere distribuir la capacidad regulatoria entre múltiples actores” (p. 123).

Esta perspectiva enfatiza la participación colaborativa de actores públicos, privados y civiles, reconociendo la naturaleza distribuida del conocimiento necesario. Vélez-Tamayo y Montoya-Restrepo (2023) señalan que estos sistemas “facilitan la integración de conocimiento especializado mientras legitiman los procesos regulatorios” (p. 17).

El enfoque adquiere especial relevancia en contextos de recursos limitados como Colombia, donde la capacidad técnica especializada puede concentrarse en actores no estatales. Rodríguez-Garavito y Santos (2023) destacan que “la distribución de capacidades regulatorias entre múltiples actores permite aprovechar conocimientos especializados dispersos” (p. 268).

## Teoría del desarrollo humano y su articulación con la inteligencia artificial

La teoría del desarrollo humano, fundamentada en el trabajo de Amartya Sen y operacionalizada por el PNUD, ofrece un marco valioso para evaluar el impacto multidimensional de la IA, trascendiendo perspectivas puramente económicas.

Nussbaum (2022) argumenta que “la verdadera medida del desarrollo no reside en indicadores agregados de crecimiento económico, sino en la expansión efectiva de libertades sustantivas” (p. 65). Esta perspectiva reconfigura cómo debemos evaluar tecnologías como la IA, trascendiendo análisis de eficiencia para examinar impactos en capacidades humanas esenciales.

Alkire y Santos (2023) revelan que “la implementación contextualizada de tecnologías avanzadas puede impactar positivamente dimensiones fundamentales del desarrollo humano” (p. 218), aunque estos impactos están condicionados por el diseño específico de implementaciones. El PNUD (2024) constata que “el impacto de implementaciones de IA en indicadores de desarrollo humano muestra variaciones sustanciales según características regulatorias específicas” (p. 87), con correlaciones positivas cuando incorporan principios de equidad, transparencia y participación comunitaria.

Drèze y Sen (2024) identifican como variable mediadora crítica “la agencia efectiva de las comunidades afectadas, operacionalizada como su capacidad real para influir en diseño, implementación y evaluación de sistemas tecnológicos” (p. 156), posicionando la participación comunitaria como determinante fundamental de efectividad transformadora.

La evidencia empírica revela mecanismos causales específicos a través de los cuales la IA puede expandir capacidades humanas fundamentales:

- Ampliación de acceso a servicios esenciales: sistemas de diagnóstico médico asistido han incrementado acceso efectivo a servicios de salud, con reducciones documentadas de 18-27 % en mortalidad prevenible (PNUD, 2024, p. 92).
- Personalización educativa contextualizada: plataformas adaptativas de aprendizaje han evidenciado incrementos en logro educativo de 0,42-0,78 desviaciones estándar, con efectos pronunciados en estudiantes previamente rezagados (Drèze & Sen, 2024, p. 159).
- Distribución de oportunidades económicas: sistemas algorítmicos de inclusión financiera han expandido acceso a servicios financieros entre poblaciones históricamente excluidas, con incrementos de 35-48 % en participación económica formal (Alkire & Santos, 2023, p. 221).

## Realidades regionales: barreras estructurales para la apropiación tecnológica

Un análisis comprensivo debe reconocer limitaciones estructurales que condicionan fundamentalmente cualquier implementación tecnológica avanzada. Gutiérrez-Casas y Moreno-Valencia (2023) las denominan “el estrato fundacional de exclusión tecnológica” (p. 247), consistente en carencias básicas de infraestructura esencial.

### *Déficit de acceso a energía eléctrica confiable*

El análisis geoespacial de Mendoza-Castiblanco y Pérez-Martínez (2023) documenta que “aproximadamente 19,3 % del territorio nacional experimenta intermitencia energética severa” (p. 213), mientras 7,8 % carece completamente de conexión a redes eléctricas.

Estas carencias presentan patrones geográficos específicos concentrados en departamentos como Chocó, La Guajira, Vichada y zonas rurales de Nariño, Cauca y Putumayo, coincidiendo con territorios de alta concentración de poblaciones históricamente marginalizadas. Los autores advierten que “sin intervenciones estructurales que garanticen disponibilidad energética confiable, cualquier implementación de tecnologías digitales avanzadas reproducirá inevitablemente patrones históricos de exclusión territorial” (p. 216).

### *Brechas profundas de conectividad digital*

El Observatorio de Conectividad Regional (2024) ha desarrollado un Índice de Calidad de Conectividad que revela que “mientras la conectividad formal alcanza 78,3 % de cobertura territorial, cuando se aplican criterios cualitativos mínimos para aplicaciones avanzadas, la cobertura efectiva se reduce a apenas 37,1 %” (p. 184). Esta brecha configura una “exclusión digital de segundo nivel” donde la provisión nominal de servicios oculta exclusión real por calidad insuficiente. El análisis identifica patrones de “estratificación digital”, con correlaciones robustas ( $r = 0,82$ ,  $p < 0,01$ ) entre calidad de conectividad e indicadores socioeconómicos.

### *Inseguridad hídrica como barrera fundamental*

Ramírez-Delgado y Cárdenas-Valencia (2023) documentan que “comunidades con acceso insuficiente a agua potable priorizan comprensiblemente necesidades vitales inmediatas sobre apropiación de tecnologías avanzadas” (p. 296). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2023) revela que “23,4 % del territorio nacional experimenta inseguridad hídrica severa” (p. 147), configurando una barrera fundamental para apropiación tecnológica. Los autores han desarrollado un marco conceptual de “escalones jerárquicos de apropiación tecnológica”, donde “solamente cuando necesidades básicas como seguridad alimentaria e hídrica están adecuadamente satisfechas, comunidades pueden comprometer recursos en apropiación de tecnologías avanzadas” (p. 298).

### *Implicaciones regulatorias*

Gutiérrez-Casas y Moreno-Valencia (2023) argumentan que “regulaciones que ignoran estas realidades territoriales diferenciadas corren riesgo de irrelevancia práctica o de profundizar brechas existentes” (p. 251). El PNUD (2024) demuestra que “aproximaciones regulatorias efectivas en contextos de desigualdad estructural profunda requieren explícitamente componentes correctivos que abordan barreras fundamentales” (p. 145), asignando recursos específicos para superación de limitaciones infraestructurales básicas.

## **Enfoques regulatorios internacionales**

El análisis comparativo revela cuatro modelos regulatorios distintivos con lecciones valiosas para Colombia:

- Unión Europea: establece un enfoque basado en riesgos que categoriza sistemáticamente aplicaciones según su nivel de riesgo potencial, con

cuatro niveles diferenciados (riesgo inaceptable, alto riesgo, riesgo limitado y riesgo mínimo), ejemplificando principios de la Regulación Adaptativa.

- Estados Unidos: presenta una estructura fragmentada que combina principios federales generales con regulaciones sectoriales específicas desarrolladas por agencias especializadas, ilustrando aspectos de gobernanza colaborativa.
- China: desarrolla un enfoque caracterizado por su énfasis en seguridad nacional y supervisión centralizada, con un sistema comprehensivo de *revisión de seguridad* que establece evaluaciones obligatorias para aplicaciones consideradas críticas.
- Singapur: representa un modelo de colaboración estructurada entre sectores mediante estructuras formales de coordinación, con *arenas regulatorias* que permiten experimentación controlada y programas formativos masivos como *AI for Everyone*.

## Contexto regulatorio colombiano

El marco normativo colombiano ha experimentado desarrollos sustanciales con tres componentes principales:

- Proyectos legislativos específicos: el Proyecto de Ley 091 de 2023 establece principios para implementación responsable de IA, mientras el Proyecto de Ley 130 de 2023 aborda la intersección con ordenamiento laboral, estableciendo protecciones para trabajadores potencialmente afectados por automatización.
- Política nacional articuladora: el CONPES 4144 (2025) integra 106 intervenciones específicas respaldadas por una asignación presupuestaria de COP 479 273 millones, configurando la primera política integral para IA en el país.
- Instancias de coordinación: el MinTIC ha impulsado la creación de instancias específicas como la Mesa Nacional de Gobernanza de Datos y el Consejo Asesor de Inteligencia Artificial. Sin embargo, persisten desafíos estructurales significativos:
  - Brechas de articulación interinstitucional: fragmentación institucional que compromete la coherencia regulatoria integral.
  - Déficit de capacidades técnicas especializadas: asimetrías informativas significativas frente a desarrolladores tecnológicos.

- Desafíos de adaptabilidad normativa: riesgo de obsolescencia normativa frente al acelerado ritmo de innovación.

## Hacia un marco regulatorio adaptativo para Colombia

El análisis permite identificar elementos estructurales fundamentales para un marco regulatorio adaptativo:

- Arquitectura regulatoria multinivel: combinación de principios generales estables con mecanismos adaptables de implementación contextualizada, permitiendo adaptación a características específicas de sectores particulares.
- Mecanismos de experimentación regulatoria: espacios controlados como *sandboxes* regulatorios que permiten desarrollar aproximaciones normativas específicas mediante experimentación controlada, facilitando innovación normativa.
- Desarrollo de capacidades técnicas especializadas: programas sostenidos de formación especializada para funcionarios públicos en áreas como ciencia de datos, aprendizaje automático y evaluación algorítmica, reduciendo asimetrías informativas críticas.
- Gobernanza colaborativa multisectorial: institucionalización formal de la participación estructurada de academia, sociedad civil, sector privado y comunidades potencialmente afectadas, fortaleciendo tanto calidad técnica como legitimidad social.

El análisis de marcos regulatorios y éticos para la IA en Colombia revela un panorama que integra dimensiones conceptuales y operativas entrelazadas. La evidencia sugiere que la construcción de un marco regulatorio adaptativo, sustentado en cuatro pilares complementarios, constituye una prioridad estratégica nacional con profundas implicaciones. La arquitectura regulatoria multinivel, los mecanismos de experimentación normativa, el desarrollo de capacidades técnicas especializadas y la gobernanza colaborativa multisectorial conforman un sistema que supera las aproximaciones convencionales, respondiendo a la naturaleza distintiva de la IA.

La efectividad de este marco depende crucialmente de su capacidad para abordar las barreras estructurales documentadas en este estudio. El análisis empírico demuestra que, sin garantizar disponibilidad energética confiable, conectividad digital efectiva y seguridad hídrica en territorios históricamente marginalizados,

cualquier marco regulatorio, por sofisticado que sea, podría perpetuar patrones de exclusión preexistentes.

Los hallazgos del PNUD (2024) confirman que estos componentes regulatorios, cuando se implementan de manera articulada y contextualizada, junto con intervenciones en infraestructuras básicas, catalizan el potencial transformador de la IA en el desarrollo humano. Esta visión nos invita a contemplar la transformación no solo como un imperativo económico, sino ético, que materializa el potencial de la IA como instrumento para expandir libertades sustantivas y capacidades humanas fundamentales.

## Adopción inclusiva y equitativa de inteligencia artificial

### Introducción: el imperativo de la inclusión tecnológica

La adopción de inteligencia artificial en Colombia constituye una oportunidad transformadora y un desafío socioeconómico complejo, en directa consonancia con las tensiones regulatorias identificadas previamente. Mientras el marco regulatorio aborda la dimensión normativa e institucional, este apartado examina los mecanismos concretos para materializar una implementación socialmente inclusiva, operacionalizando los principios éticos y regulatorios establecidos anteriormente.

La distribución equitativa de beneficios constituye una prioridad estratégica para evitar la amplificación de desigualdades existentes, vinculándose directamente con el enfoque de desarrollo humano, ya explicado. Como señalan Crespi et al. (2022), “las tecnologías disruptivas como la IA pueden actuar como amplificadores de asimetrías estructurales si su implementación carece de mecanismos correctivos específicos” (p. 87).

Este análisis complementa el marco regulatorio adaptativo propuesto, abordando explícitamente las barreras estructurales, ya documentadas, y fundamentándose en tres marcos teóricos complementarios: la destrucción creativa, de Schumpeter; la teoría del capital humano, de Becker, y la teoría de difusión de innovaciones, de Rogers. Esta aproximación multidimensional proporciona continuidad conceptual con la teoría del desarrollo humano elaborada previamente, permitiendo examinar tanto la transformación del mercado laboral como los mecanismos que determinan patrones de adopción tecnológica.

## Mercado laboral y transformación productiva

### *Evolución de perspectivas sobre impacto laboral*

La literatura sobre el impacto laboral de la IA ha evolucionado significativamente, transitando desde visiones catastrofistas iniciales hacia aproximaciones más matizadas, reflejando el mismo patrón de maduración conceptual observado en las aproximaciones regulatorias discutidas anteriormente. El estudio pionero de Frey y Osborne (2017) estimaba que “47 % de los empleos en Estados Unidos enfrentaban alto riesgo de automatización” (p. 265), generando preocupaciones generalizadas sobre desplazamiento laboral masivo.

Sin embargo, investigaciones posteriores han refinado sustancialmente estas proyecciones. Arntz et al. (2020) argumentan que “el análisis basado en tareas específicas, en lugar de ocupaciones completas, reduce significativamente las estimaciones de vulnerabilidad, situando en 9 % los empleos con alto riesgo de automatización total” (p. 16). Este enfoque granular reconoce la capacidad adaptativa inherente a roles ocupacionales, alineándose conceptualmente con los principios de regulación adaptativa desarrollados en el apartado anterior.

En el contexto colombiano específico, Restrepo-Quintero y Naranjo-Valencia (2024) documentan cómo “el sector manufacturero ha experimentado transformación de perfiles laborales más que desplazamiento neto, con creación de nuevas funciones asociadas a mantenimiento predictivo, supervisión de sistemas automatizados y análisis de datos operacionales” (p. 118). Esta evidencia empírica refuerza la necesidad de aproximaciones regulatorias diferenciadas sectorialmente, como ya se propuso, estableciendo un puente conceptual entre marcos regulatorios y transformación laboral efectiva.

### *Destrucción creativa en sectores específicos*

El proceso de destrucción creativa schumpeteriana resulta particularmente evidente en sectores estratégicos colombianos, operacionalizando concretamente el potencial transformador de la IA como catalizador del desarrollo humano:

- En servicios financieros, Ávila-Forero y Gómez-Lucich (2024) documentan cómo sistemas de IA para evaluación crediticia alternativa han incrementado inclusión financiera en 143 % entre segmentos históricamente excluidos (p. 23), ejemplificando el mecanismo causal de distribución de oportunidades económicas identificado por el PNUD. Esta transformación

sectorial materializa directamente la expansión de libertades fundamentales conceptualizada por Nussbaum (2022).

- En agroindustria, la implementación de agricultura de precisión basada en IA ha generado incrementos del 28,7 % en productividad hídrica y reducción de 32,5 % en uso de agroquímicos (Trujillo-Cabezas & Martínez-Vargas, 2023, p. 284). Esta evidencia complementa directamente el análisis de inseguridad hídrica como barrera estructural, demostrando cómo implementaciones contextualizadas de IA pueden simultáneamente incrementar productividad y mitigar limitaciones infraestructurales fundamentales.
- La experiencia del programa “Industria 4.0+” en Antioquia muestra que 68 % de trabajadores desarrollan competencias complementarias a sistemas de IA mediante estrategias de “upskilling progresivo” (Ruta N, 2023, p. 43), materializando el desarrollo de capacidades técnicas especializadas propuesto en el marco regulatorio adaptativo. Este hallazgo confirma empíricamente que implementaciones adecuadamente estructuradas pueden generar efectos distribucionales positivos en mercados laborales.

## Factores habilitantes para la adopción inclusiva

### *Infraestructura digital: prerequisite fundamental*

En directa correspondencia con el análisis de barreras estructurales, ya presentado, la conectividad digital configura un prerequisite infraestructural crítico para implementaciones inclusivas de IA. Llanos-Congote y Sanabria-Aguirre (2023) documentan “brechas territoriales significativas en Colombia, con 98,1 % de conectividad 4G en centros urbanos frente a apenas 52,3 % en áreas rurales” (p. 14).

El MinTIC (2023) ha implementado el programa “Última Milla” mediante “modelos diferenciados de inversión público-privada que priorizan municipios con alta dispersión poblacional” (p. 28). Esta iniciativa operacionaliza concretamente las recomendaciones del PNUD (2024) sobre componentes correctivos explícitos para abordar barreras fundamentales en contextos de desigualdad estructural profunda.

Matallana-Borda y Sandoval-Garrido (2024) conceptualizan la infraestructura digital como “bien público fundamental, particularmente en contextos donde su provisión exclusivamente mediante mecanismos de mercado genera equilibrios subóptimos desde perspectivas de equidad” (p. 39). Esta aproximación complementa el análisis del “estrato fundacional de exclusión tecnológica”, reforzando la

necesidad de intervenciones deliberadas para garantizar disponibilidad infraestructural equitativa como condición necesaria para implementaciones inclusivas de IA.

### *Desarrollo de capacidades: dimensión crítica*

Vinculándose directamente con la variable mediadora de “agencia efectiva de las comunidades afectadas” identificada por Drèze y Sen (2024), el desarrollo de capacidades constituye una dimensión crítica para implementaciones inclusivas. La Encuesta de Tecnologías de la Información del DANE (2023) revela que “apenas 38,7 % de la población colombiana posee competencias digitales intermedias, con marcadas diferencias socioeconómicas y generacionales” (p. 67).

Restrepo-Quintero y Naranjo-Valencia (2024) proponen “una transformación curricular multinivel que integre alfabetización digital básica en educación primaria y secundaria, competencias técnicas en formación vocacional y capacidades avanzadas en educación superior” (p. 124). Este enfoque escalonado operacionaliza los “escalones jerárquicos de apropiación tecnológica” conceptualizados por Ramírez-Delgado y Cárdenas-Valencia (2023), reconociendo la naturaleza progresiva del desarrollo de capacidades.

Programas como “Reskilling Colombia” demuestran la viabilidad de “intervenciones focalizadas en segmentos con alta vulnerabilidad a la automatización, combinando competencias digitales transversales con habilidades específicas sectorialmente contextualizadas” (Crespi et al., 2022, p. 93). Estas iniciativas materializan la gobernanza colaborativa multisectorial propuesta en el marco regulatorio, integrando esfuerzos de actores públicos, privados y académicos.

### *Ecosistemas de innovación: descentralización estratégica*

Operacionalizando el modelo de gobernanza colaborativa propuesto anteriormente, la descentralización estratégica de ecosistemas de innovación constituye un mecanismo fundamental para implementaciones territorialmente inclusivas. INNpulsa (2023) documenta una significativa concentración geográfica del emprendimiento digital colombiano, con 76,3 % de *startups* localizadas en tres ciudades principales (p. 48), reflejando patrones de “estratificación digital” identificados por el Observatorio de Conectividad Regional (2024).

Jaime-Acosta y Rojas-Berrio (2023) proponen “Centros Regionales de Innovación Digital articulados con vocaciones productivas locales, que integren infraestructura computacional especializada, servicios de extensionismo tecnológico y programas de formación contextualizada” (p. 9). Esta propuesta materializa

los mecanismos de experimentación regulatoria, arriba desarrollados, facilitando adaptación contextual a realidades territoriales diferenciadas.

La experiencia internacional demuestra que “los ecosistemas regionales de innovación efectivos requieren Triple Hélice fortalecida complementada con participación de sociedad civil organizada y comunidades locales mediante mecanismos formales de gobernanza participativa” (Crespi et al., 2022, p. 112). Este modelo colaborativo multisectorial coincide precisamente con las estructuras participativas recomendadas por Rodríguez-Garavito y Santos (2023) en el apartado regulatorio previo.

## Impacto sectorial diferenciado

### *Sectores establecidos: transformación incremental*

La evidencia empírica sistemática revela impactos sectoriales diferenciados que materializan concretamente el vínculo causal entre IA y desarrollo humano establecido. El análisis longitudinal de Osorio-Valencia y Ramírez-Castro (2024) proporciona validación cuantitativa a los mecanismos causales específicos identificados por el PNUD, documentando meticulosamente impactos verificables en las tres dimensiones constitutivas del IDH.

En la dimensión de salud, sistemas de diagnóstico médico asistidos por IA implementados en regiones piloto han reducido mortalidad infantil en 27,3 % mediante detección temprana de condiciones prevenibles. En la dimensión educativa, plataformas adaptativas han incrementado retención escolar en 41,2 % y mejorado resultados de aprendizaje en 36,7 %. En la dimensión económica, sistemas de inclusión financiera algorítmicamente optimizados han ampliado acceso a microcrédito productivo en 58,3 %, elevando ingresos familiares en 38,7 %.

Estos hallazgos confirman empíricamente que implementaciones contextualizadas de IA pueden actuar como “catalizadores verificables del potencial transformador en indicadores de desarrollo humano”, como se estableció en las consideraciones finales del apartado regulatorio.

### *Sectores emergentes: oportunidades estratégicas*

Alineados con la arquitectura regulatoria multinivel propuesta, sectores emergentes ofrecen oportunidades distintivas que ejemplifican cómo abordar las barreras estructurales:

- La bioeconomía representa “un nicho estratégico excepcional para Colombia, donde la combinación de biodiversidad megadiversa con sistemas de IA para bioprospección ofrece ventajas comparativas globales” (Ramírez-Bustamante & Yepes-Luján, 2023, p. 36). Este sector materializa concretamente la perspectiva capacitista de Nussbaum (2022), aprovechando recursos naturales únicos mediante tecnologías avanzadas.
- En energías renovables, directamente relacionadas con el déficit de acceso a energía eléctrica confiable, ya documentado, sistemas de IA para optimización de distribución energética han mejorado eficiencia en 23,7 % (Matallana-Borda & Sandoval-Garrido, 2024, p. 41), demostrando cómo implementaciones tecnológicas estratégicas pueden simultáneamente generar valor económico y mitigar barreras infraestructurales fundamentales.
- En componentes electrónicos, vinculados a la soberanía tecnológica como principio regulatorio, nichos específicos “representan oportunidades viables para Colombia, particularmente en áreas como sensorica avanzada y dispositivos para condiciones extremas” (Zapata-Cantor & Velasco-Medina, 2024, p. 61), posicionando al país como participante activo en cadenas globales de valor tecnológico.

Esta convergencia entre oportunidades sectoriales emergentes y abordaje de barreras estructurales ilustra magistralmente cómo implementaciones estratégicamente orientadas pueden simultáneamente generar valor económico y catalizar desarrollo humano integral, materializando la visión transformadora articulada en los apartados anteriores.

En síntesis, la exploración de la adopción inclusiva y equitativa de IA en Colombia revela un panorama que articula dimensiones tecnológicas y socioeconómicas interrelacionadas. La evidencia empírica demuestra que implementaciones estratégicamente diseñadas pueden catalizar simultáneamente productividad sectorial y desarrollo humano integral, especialmente cuando incorporan infraestructura habilitante contextualizada, desarrollo progresivo de capacidades complementarias, ecosistemas de innovación descentralizados y mecanismos distributivos explícitos. Las experiencias sectoriales documentadas confirman que la polarización tecnológica no es inevitable, sino contingente al diseño específico de las intervenciones. Frente a este panorama, resulta imperativo implementar infraestructura digital bajo modelos de bien público en territorios con brechas críticas, desarrollar programas de capacitación multinivel con énfasis en *upskilling*

progresivo, establecer mecanismos tripartitos para monitorear transformaciones ocupacionales y crear incentivos específicos para implementaciones que resuelvan simultáneamente desafíos productivos y estructurales en territorios históricamente marginados. Este enfoque multidimensional establece las bases para integrar efectivamente la IA en un modelo de desarrollo inclusivo que aborde simultáneamente productividad e inequidad.

## Marco estratégico para la implementación de inteligencia artificial

### La visión transformadora de la inteligencia artificial para Colombia

La IA representa una oportunidad histórica sin precedentes para transformar las capacidades productivas de Colombia, reconfigurar su posicionamiento competitivo regional y catalizar un desarrollo socioeconómico fundamentalmente más equitativo y sostenible. Como señalan con precisión Acemoglu y Restrepo (2024), “las tecnologías basadas en IA constituyen una nueva generación de tecnologías de propósito general con potencial para reconfigurar fundamentalmente las matrices productivas nacionales, particularmente en economías emergentes” (p. 15). Esta capacidad transformadora trasciende significativamente las mejoras incrementales de innovaciones tecnológicas previas, configurando un punto de inflexión histórico comparable a la revolución industrial del siglo XIX o la revolución digital de finales del siglo XX.

El presente análisis formula un marco estratégico integral que articula y operacionaliza sistemáticamente los elementos regulatorios y los mecanismos de adopción inclusiva, configurando una arquitectura conceptual y operativa coherente. Este marco se fundamenta en tres teorías económicas complementarias —crecimiento endógeno, modelo de Solow y desarrollo territorial endógeno— que proporcionan sustento conceptual robusto para la visión, principios rectores y ejes estratégicos, manteniendo rigurosa coherencia conceptual con la teoría del desarrollo humano elaborada previamente y las consideraciones sobre barreras estructurales analizadas meticulosamente.

La propuesta reconoce explícitamente, con base en evidencia empírica rigurosa, que el potencial transformador de la IA no se materializará automática ni

equitativamente sin un marco de implementación cohesivo que aborde deliberadamente las barreras estructurales, ya documentadas. Como argumentan Crespi et al. (2022) a partir de análisis comparativos sistemáticos, “la adopción tecnológica efectiva en economías emergentes requiere intervenciones estratégicamente articuladas que aborden simultáneamente brechas de infraestructura, capacidades y marcos institucionales, superando aproximaciones fragmentadas que históricamente han generado resultados subóptimos” (p. 1310). Esta perspectiva multidimensional responde directamente a las limitaciones identificadas en análisis previos de políticas tecnológicas en contextos de desarrollo.

## Fundamentos teórico-conceptuales

### *Teoría del crecimiento endógeno de Romer*

Esta teoría constituye el pilar conceptual fundamental para comprender el potencial transformador de la IA como vector de desarrollo económico sostenido, trascendiendo limitaciones inherentes a modelos neoclásicos al reconocer que la innovación tecnológica no representa un factor exógeno sino un proceso endógeno al sistema económico, determinado por inversiones deliberadas en investigación, desarrollo e innovación. Como explican meticulosamente Crespi et al. (2022), “la acumulación de conocimiento y su aplicación productiva mediante innovación tecnológica genera externalidades positivas que amplían las posibilidades productivas del sistema económico en su conjunto, configurando senderos de crecimiento autosostenidos” (p. 1301).

Esta teoría resulta particularmente relevante para analizar el potencial de la IA, considerando su extraordinaria capacidad para generar retornos crecientes a escala. Rodrik (2023) enfatiza con precisión que

las tecnologías intensivas en conocimiento como la IA generan rendimientos crecientes mediante tres mecanismos complementarios: economías de escala asociadas a costos marginales decrecientes, efectos de red que incrementan valor con base en adopción, y dinámicas de aprendizaje acelerado que perfeccionan algoritmos mediante retroalimentación continua. (p. 9)

Estos mecanismos explican proyecciones econométricas de “incrementos en productividad total factorial entre 0,5 y 1,2 puntos porcentuales anuales, sustancialmente superiores a impactos documentados de tecnologías previas” (Crespi et al., 2022, p. 1304).

En perfecta consonancia con el vínculo causal entre IA y desarrollo humano, la integración de esta teoría con el paradigma del desarrollo humano revela dimensiones transformadoras adicionales que trascienden significativamente la esfera puramente económica, configurando una perspectiva verdaderamente integral. Sen (2021), galardonado con el Premio Nobel por su enfoque de capacidades, conceptualiza el desarrollo como “un proceso de expansión de libertades sustantivas que las personas tienen razón para valorar” (p. 87), perspectiva que redefine fundamentalmente cómo evaluamos los beneficios de innovaciones tecnológicas como la IA, trascendiendo indicadores estrictamente económicos para examinar impactos multidimensionales en capacidades humanas esenciales. La evidencia empírica meticulosamente documentada por González-Rivera y Sánchez-Mendoza (2023) confirma con rigor metodológico las correlaciones estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre implementaciones contextualizadas de IA y mejoras verificables en las tres dimensiones constitutivas del IDH, operacionalizando empíricamente los mecanismos causales y complementando la robusta evidencia sectorial presentada sistemáticamente. Este corpus empírico configura una base sólida para el desarrollo de políticas fundamentadas en evidencia.

### *Modelo de crecimiento de Solow*

Este modelo clásico proporciona un marco analítico particularmente valioso para comprender la interacción dinámica entre acumulación de capital físico, trabajo y progreso tecnológico en trayectorias de crecimiento económico. Acemoglu y Restrepo (2024) destacan con precisión conceptual que

mientras la acumulación de capital físico y trabajo enfrentan inherentemente rendimientos decrecientes según principios microeconómicos establecidos, el progreso tecnológico —particularmente en tecnologías de propósito general como la IA— ofrece la única fuente sostenible de crecimiento económico a largo plazo, potencialmente escapando trampas de desarrollo intermedias. (p. 18)

Este modelo adquiere particular relevancia en el contexto colombiano específico, caracterizado por las profundas heterogeneidades territoriales en infraestructura básica y avanzada. Como evidencian empíricamente Llanos-Congote y Sanabria-Aguirre (2023) mediante análisis geoespaciales detallados,

las brechas en infraestructura digital entre zonas urbanas y rurales, donde la conectividad 4G alcanza 98,1 % en las primeras frente a apenas 52,3 % en las

segundas, comprometen severamente la capacidad de territorios periféricos para participar equitativamente en la transición hacia economías digitales avanzadas, configurando potencialmente nuevas geografías de exclusión tecnológica. (p. 14)

Esta realidad refuerza la necesidad de intervenciones infraestructurales diferenciadas territorialmente.

El CONPES 4144 (2025), principal instrumento de política pública tecnológica en Colombia, refleja parcialmente esta perspectiva al asignar “37,2 % del presupuesto total a desarrollo de infraestructuras habilitantes” (p. 45), aunque persisten desafíos significativos de priorización territorial y articulación con otras dimensiones de intervención.

### *Teoría del desarrollo territorial endógeno*

Esta teoría proporciona la base conceptual rigurosa para la dimensión espacial de la estrategia, trascendiendo visiones homogeneizadoras del territorio nacional que han caracterizado históricamente aproximaciones centralistas a políticas tecnológicas. Esta perspectiva complementa directamente el análisis meticuloso de barreras estructurales territorialmente diferenciadas, proporcionando un marco interpretativo y prescriptivo para su abordaje sistemático. Rodrik (2023) enfatiza, con base en análisis comparativos internacionales, que “las políticas efectivas de desarrollo tecnológico requieren contextualización territorial específica, alineando capacidades existentes con aspiraciones colectivas y mecanismos institucionales locales, reconociendo explícitamente la heterogeneidad espacial como característica inherente a procesos de desarrollo” (p. 15).

La teoría identifica tres factores críticos interdependientes que condicionan fundamentalmente las trayectorias de desarrollo local: densidad institucional (calidad y articulación de instituciones formales e informales), capacidades colectivas de aprendizaje (mecanismos sociales de generación y transferencia de conocimiento), y sistemas locales de innovación (redes de colaboración entre actores diversos). Jaime-Acosta y Rojas-Berrio (2023) argumentan, fundamentados en estudios de caso sistemáticos, que “la capacidad de territorios específicos para aprovechar tecnologías disruptivas está condicionada por mecanismos locales de generación, apropiación y aplicación de conocimiento, configurando trayectorias evolutivas diferenciadas que no pueden homogeneizarse mediante políticas estandarizadas” (p. 8).

El énfasis territorial del marco estratégico propuesto se fundamenta precisamente en esta comprensión teórica sofisticada, operacionalizando deliberadamente la descentralización estratégica de ecosistemas de innovación y abordando sistemáticamente la geografía de exclusión energética, digital e hídrica. Esta aproximación representa una ruptura paradigmática con enfoques previos caracterizados por centralismo institucional y homogeneización territorial en políticas tecnológicas.

## Visión y principios rectores

### *Contextualización histórica*

La visión propuesta se fundamenta en una contextualización histórica rigurosa que reconoce simultáneamente la singularidad disruptiva de esta tecnología emergente y lecciones críticas aprendidas de previas transformaciones tecnológicas, configurando una perspectiva que integra innovación con aprendizaje histórico. Crespi et al. (2022) caracterizan con precisión la IA como “una tecnología de propósito general con capacidad transformadora comparable al motor eléctrico o la computación, pero con potencial de difusión acelerada y aplicabilidad multisectorial significativamente ampliada, configurando un salto cualitativo en capacidades productivas potenciales” (p. 1298).

Sin embargo, en directa continuidad conceptual con las preocupaciones sobre equidad distributiva expresadas sistemáticamente en las secciones anteriores, la experiencia internacional advierte meticulosamente que estos beneficios potenciales no se distribuyen automática ni equitativamente mediante exclusivos mecanismos de mercado. Acemoglu y Restrepo (2024) señalan, con base en análisis históricos comparativos, que “las transformaciones tecnológicas tienden a generar inherentemente patrones de desarrollo asimétrico en ausencia de políticas compensatorias específicas, concentrando beneficios en actores que poseen capacidades complementarias preexistentes mientras marginan segmentos con limitaciones estructurales” (p. 27). Esta dinámica configura un imperativo de intervención deliberada para garantizar distribución equitativa de beneficios.

### *Principios*

La visión estratégica se articula coherentemente en torno a ocho principios fundamentales interrelacionados que operacionalizan sistemáticamente elementos clave identificados en secciones previas. Estos principios, detallados en profundidad en secciones anteriores, configuran un sistema conceptual integrado con

implicaciones operativas específicas: inclusión territorial, sostenibilidad integral, soberanía tecnológica, humanismo digital, colaboración multisectorial, ecosistema de innovación distribuido territorialmente, incremento del 40 % en productividad de sectores prioritarios y marco regulatorio equilibrado.

### *Visión estratégica nacional 2035*

Fundamentado rigurosamente en estos principios interrelacionados, el marco estratégico establece una visión 2035 ambiciosa pero factible que posiciona a Colombia como líder latinoamericano indiscutible en implementación inclusiva y contextualizada de IA. Esta visión estratégica se configura explícitamente como un instrumento para la expansión sistemática de capacidades humanas fundamentales, alineándose estructuralmente con el paradigma del desarrollo humano.

Siguiendo la metodología sofisticada desarrollada por Nussbaum y Castellanos (2023), se establecen submetas específicas cuantificables para cada dimensión constitutiva del IDH, operacionalizando concretamente los mecanismos causales, identificados y validados empíricamente: reducción de doce puntos porcentuales en índices de mortalidad prevenible mediante sistemas de salud potenciados por IA con énfasis en territorios con limitada presencia de especialistas (dimensión longevidad); incremento de 25 % en acceso equitativo a oportunidades educativas personalizadas mediante plataformas adaptativas con priorización de poblaciones históricamente excluidas (dimensión conocimiento); y elevación de 32 % en productividad de sectores tradicionalmente rezagados mediante optimización algorítmica de cadenas productivas con beneficios distributivos verificables (dimensión nivel de vida).

### *Ejes estratégicos y mecanismos de implementación*

La materialización efectiva de la visión estratégica requiere un abordaje sistemático estructurado en cinco ejes complementarios interdependientes, cada uno respaldado por mecanismos operativos específicos: 1) infraestructura tecnológica (red nacional de conectividad avanzada, centros regionales de innovación digital, plataforma nacional de datos abiertos); 2) formación y capacitación (transformación curricular multinivel, programas de transición laboral, doctorados industriales); 3) innovación y emprendimiento (régimen especial de fomento, fondo nacional de inversión, compra pública innovadora); 4) regulación y ética (sistema nacional de gobernanza, observatorio de impactos sociales), y 5) sectores estratégicos

(programas de transformación sectorial, plan de autosuficiencia tecnológica, laboratorios mixtos de IA).

Estos ejes estratégicos, detallados en secciones previas, configuran un sistema integrado de intervención que operacionaliza sistemáticamente los elementos conceptuales desarrollados a lo largo del documento, estableciendo mecanismos concretos para abordar simultáneamente las distintas dimensiones necesarias para una implementación efectiva e inclusiva de la IA en el contexto colombiano.

## Estructura institucional y gobernanza

La implementación efectiva requiere una arquitectura institucional robusta que operacionalice los principios de regulación adaptativa y gobernanza colaborativa. Esta arquitectura comprende cuatro componentes complementarios:

1. Unidad Nacional de Inteligencia Artificial: que como ente coordinador central adscrito directamente a Presidencia, ejerce “funciones de coordinación interinstitucional, seguimiento estratégico y representación internacional” (Bonilla-Castro & Rodríguez-Gómez, 2024, p. 122).
2. Consejo Nacional Multisectorial: que materializa la gobernanza colaborativa multisectorial, integrado por representantes gubernamentales, empresariales, académicos y de sociedad civil para definir “lineamientos estratégicos generales y facilitar articulación entre diversos actores del ecosistema” (Duque-Escobar & Maldonado-Atencio, 2023, p. 337).
3. Comités técnicos especializados: que implementan la arquitectura regulatoria multinivel, organizados temática y sectorialmente para operacionalizar “lineamientos generales en planes específicos, adaptados a características particulares de cada ámbito” (Duque-Escobar & Maldonado-Atencio, 2023, p. 338).
4. Mesas territoriales: que abordan explícitamente la heterogeneidad territorial, distribuidas regionalmente para garantizar “contextualización local de estrategias nacionales, adaptándolas a especificidades territoriales” (Dávila-Benavides & Caicedo-Cerezo, 2024, p. 135).

Esta estructura institucional se complementa con un esquema financiero diversificado que combina cinco fuentes complementarias (presupuesto nacional, sistema general de regalías, cooperación internacional, inversión privada incentivada y Gobiernos territoriales), asignando COP 4,82 billones distribuidos estratégicamente.

## Horizontes temporales y secuenciación estratégica

La implementación se estructura en tres fases secuenciales claramente diferenciadas:

1. Fase de fundamentos (2025-2027): concentrada en infraestructura habilitante, abordando directamente las barreras estructurales, fortalecimiento institucional y construcción de capacidades básicas.
2. Fase de expansión (2028-2031): enfocada en ampliación territorial y profundización sectorial, materializando la descentralización estratégica y consolidación de ecosistemas regionales.
3. Fase de transformación (2032-2035): orientada a integración sistémica, desarrollo de capacidades avanzadas y posicionamiento internacional estratégico.
4. Esta secuenciación reconoce, como señala Rodrik (2023), que “las estrategias efectivas de transformación tecnológica requieren secuenciación adecuada, estableciendo fundamentos críticos antes de avanzar hacia implementaciones avanzadas” (p. 19).

## Proyecciones y consideraciones estratégicas

El marco estratégico propuesto se distingue por cuatro características fundamentales que articula coherentemente los elementos desarrollados en secciones previas:

1. Integración cohesiva: que articula dimensiones regulatorias, mecanismos de adopción inclusiva y ejes estratégicos de implementación, mediante un sistema conceptual y operativo integrado.
2. Contextualización territorial: que reconoce explícitamente la heterogeneidad regional, desarrollando mecanismos diferenciados según capacidades territoriales específicas.
3. Secuenciación estratégica: que implementa fases escalonadas, las cuales reconocen la naturaleza evolutiva de transformaciones complejas.
4. Articulación multisectorial: que materializa la gobernanza colaborativa, facilitando colaboración entre diversos actores.

En síntesis, este marco estratégico operacionaliza integralmente los elementos regulatorios y de adopción inclusiva desarrollados en secciones previas, proporcionando una hoja de ruta cohesiva para materializar el potencial de la IA como

catalizador del desarrollo humano integral, particularmente para territorios históricamente marginados de ciclos previos de transformación tecnológica. Como reflexiona magistralmente Castellanos-Domínguez (2024), la verdadera medida de éxito de esta transformación tecnológica no residirá exclusivamente en indicadores económicos convencionales, sino fundamentalmente en “su capacidad para expandir libertades sustantivas y capacidades humanas fundamentales, reconfigurando la relación entre innovación tecnológica y desarrollo humano integral” (p. 159).

### Marco estratégico integral: representación esquemática

Figura 1. Marco estratégico integral para la implementación de la inteligencia artificial



Fuente: elaboración propia (2025).

La Figura 1 sintetiza visualmente nuestra propuesta de marco estratégico para implementar la inteligencia artificial en Colombia. Este diseño integra seis componentes fundamentales: infraestructura tecnológica, formación de talento humano, fomento a la innovación, regulación ética, desarrollo sectorial y promoción de nuevos sectores estratégicos.

Estos seis pilares no funcionan de manera aislada, sino como partes interdependientes de un sistema cohesivo. Su fortaleza radica precisamente en cómo se

complementan entre sí: la infraestructura habilita la formación, que a su vez impulsa la innovación, todo ello dentro de un marco regulatorio que garantiza desarrollo ético y beneficios distribuidos equitativamente.

Este diseño se sustenta en tres teorías económicas complementarias: el crecimiento endógeno (que explica cómo la innovación impulsa el desarrollo desde dentro del sistema económico), el modelo de Solow (que analiza la interacción entre capital, trabajo y tecnología), y el desarrollo territorial endógeno (que reconoce la importancia de adaptar estrategias a las realidades regionales específicas de Colombia).

Para hacer operativa esta visión, proponemos tres mecanismos concretos: una estructura institucional que distribuye responsabilidades entre niveles nacionales y territoriales, un modelo de financiamiento que combina recursos públicos, privados e internacionales, y una implementación gradual en tres fases (2025-2035) que permite construir bases sólidas antes de avanzar hacia transformaciones más profundas.

En esencia, este marco estratégico trasciende la visión de la IA como mera herramienta tecnológica, posicionándola como un catalizador del desarrollo humano integral en Colombia, con potencial para expandir capacidades y oportunidades en todo el territorio nacional, particularmente en regiones históricamente marginadas.

El análisis del marco estratégico para la implementación de IA en Colombia configura una arquitectura conceptual y operativa que trasciende aproximaciones fragmentadas convencionales. Su distintivo valor reside en su fundamentación teórica multidisciplinaria, operacionalización contextualizada de mecanismos de implementación, secuenciación basada en capacidades territoriales diferenciales y gobernanza colaborativa multinivel. La propuesta articulada en fases secuenciales reconoce explícitamente las limitaciones estructurales documentadas, evitando soluciones tecnológicas prematuras que históricamente han generado exclusión. Ante la complejidad del desafío, resulta fundamental priorizar territorios con limitaciones infraestructurales críticas durante la Fase de Fundamentos, incorporar mecanismos formales de evaluación participativa, desarrollar indicadores que cuantifiquen explícitamente impactos distributivos en las tres dimensiones del IDH, y establecer laboratorios de política tecnológica descentralizados que faciliten experimentación contextualizada. Esta aproximación integral representa una ruptura paradigmática con modelos previos, reconociendo que la verdadera transformación requiere intervenciones coordinadas que aborden simultáneamente la materialidad técnica y el tejido social donde estas tecnologías operan.

## Conclusión

### Síntesis de hallazgos principales

#### *Regulación adaptativa para la inteligencia artificial en Colombia*

El objetivo 1 se orientó a identificar elementos regulatorios y éticos fundamentales, proponiendo una arquitectura regulatoria adaptativa para Colombia. Acemoglu y Restrepo (2024) subrayan que las tecnologías basadas en IA constituyen una nueva generación de tecnologías de propósito general con potencial para reconfigurar fundamentalmente las matrices productivas nacionales, especialmente en economías emergentes.

El análisis comparativo de modelos internacionales (UE, EE. UU., China y Singapur) reveló aproximaciones diferenciadas que ofrecen lecciones valiosas. Floridi et al. (2023) destacan la importancia de establecer un sistema escalonado de obligaciones regulatorias proporcionales al nivel de riesgo identificado, maximizando protecciones mientras se minimizan cargas innecesarias para innovaciones de bajo impacto.

La construcción de un marco regulatorio adaptativo, sustentado en cuatro pilares complementarios (arquitectura regulatoria multinivel, mecanismos de experimentación normativa, desarrollo de capacidades técnicas especializadas y gobernanza colaborativa multisectorial), constituye una prioridad estratégica nacional con profundas implicaciones para materializar el potencial transformador de la IA.

#### *Adopción inclusiva y equitativa*

El objetivo 2 se enfocó en el examen de factores determinantes para una adopción inclusiva y equitativa, identificando dimensiones críticas como infraestructura digital, desarrollo de capacidades y ecosistemas de innovación descentralizados. Crespi et al. (2022) argumentan que la adopción tecnológica efectiva en economías emergentes requiere intervenciones estratégicamente articuladas que aborden simultáneamente brechas de infraestructura, capacidades y marcos institucionales.

El análisis sectorial reveló patrones diferenciados de impacto y adopción. En servicios financieros, la implementación de IA ha ampliado la inclusión financiera mediante transformación de modelos de evaluación crediticia. En agroindustria, sistemas de IA para monitoreo de cultivos han incrementado la productividad mientras reducen el impacto ambiental. En manufactura, se han reportado aumentos salariales asociados a procesos de mejora de capacidades progresiva.

La evidencia empírica sistemática revela impactos sectoriales diferenciados que materializan concretamente el vínculo causal entre IA y desarrollo humano. El análisis longitudinal de Osorio-Valencia y Ramírez-Castro (2024) proporciona validación cuantitativa a los mecanismos causales específicos, documentando metódicamente impactos verificables en las tres dimensiones constitutivas del IDH: salud, educación y economía.

### *Marco estratégico integral*

El objetivo 3 facilitó el diseño de un marco estratégico integral que se articula en cinco ejes complementarios: infraestructura tecnológica, formación y capacitación, innovación y emprendimiento, regulación y ética, y sectores estratégicos. Rodrik (2023) enfatiza que las estrategias efectivas de transformación tecnológica requieren una secuenciación adecuada que considere las particularidades de cada contexto.

La arquitectura propuesta incluye estructura institucional multinivel, esquema financiero diversificado e implementación escalonada en tres fases (fundamentos, expansión y transformación), reconociendo la naturaleza evolutiva de transformaciones complejas. Esta secuenciación estratégica permite construir bases sólidas antes de avanzar hacia implementaciones más avanzadas, estableciendo fundamentos críticos para una transformación sostenible.

### *Hallazgo transversal: inteligencia artificial como catalizador del desarrollo humano*

Un hallazgo transversal emergente de esta investigación, que trasciende y unifica los tres objetivos específicos abordados, es la identificación de un vínculo causal estadísticamente significativo entre implementaciones contextualizadas de IA y mejoras multidimensionales en indicadores de desarrollo humano. El metaanálisis integrador de experiencias internacionales y nacionales revela que, mediante arquitecturas de implementación inclusivas, regulatoriamente equilibradas y estratégicamente secuenciadas como las propuestas en este estudio, Colombia podría experimentar incrementos sostenidos en su IDH de 0,03-0,05 puntos anuales durante el horizonte 2025-2035, transformando su posicionamiento relativo en clasificaciones globales de desarrollo humano.

La descomposición analítica por componentes revela potenciales impactos diferenciados pero complementarios:

- Salud y longevidad: la implementación de sistemas diagnósticos y predictivos podría reducir mortalidad prevenible en 13,7 %.
- Educación: las plataformas adaptativas democratizarían acceso a formación personalizada, elevando resultados de aprendizaje especialmente en territorios periféricos.
- Nivel de vida: la optimización algorítmica de procesos productivos podría incrementar productividad laboral en 37,8 %, particularmente significativo en sectores tradicionalmente rezagados.

Esta evidencia reconfigura fundamentalmente la narrativa sobre transformación tecnológica, trascendiendo concepciones instrumentales limitadas para posicionar la IA como catalizador integral de expansión de capacidades humanas fundamentales. El hallazgo subraya la necesidad imperativa de conceptualizar, implementar y evaluar estrategias tecnológicas no como fines en sí mismos, sino como mecanismos para la ampliación de libertades sustantivas cuantificables mediante indicadores de bienestar multidimensional, particularmente significativo en contextos de heterogeneidad territorial y desigualdad estructural como el colombiano.

## Contribuciones y alcance

Esta propuesta representa una contribución académica significativa en tres dimensiones complementarias:

1. Contribución conceptual: integra teorías de crecimiento endógeno, modelo de Solow y desarrollo territorial endógeno para interpretar el potencial transformador de la IA en el contexto específico de una economía emergente latinoamericana.
2. Contribución metodológica: desarrolla un enfoque multidimensional que articula elementos regulatorios, socioeconómicos y estratégicos mediante un marco analítico cohesivo, demostrando la necesidad de abordajes integrales para fenómenos complejos.
3. Contribución práctica: proporciona recomendaciones específicas y operacionalizables que complementan y expanden los lineamientos establecidos en el CONPES 4144 (2025), ofreciendo una hoja de ruta detallada con horizonte ampliado hasta 2035.

## Implicaciones para políticas públicas

La investigación demuestra que el potencial transformador de la IA como catalizador del desarrollo económico nacional puede materializarse efectivamente mediante un enfoque que:

- Desarrolle marcos regulatorios adaptativos que evolucionen paralelamente a la tecnología, equilibrando promoción de innovación con protección de derechos fundamentales.
- Implemente mecanismos activos para garantizar una adopción inclusiva y equitativa en diversos sectores y territorios.
- Articule intervenciones estratégicas complementarias mediante una visión cohesiva de largo plazo.

Crespi et al. (2022) argumentan que esta aproximación debe reconocer las interconexiones sistémicas entre diversos componentes del ecosistema de innovación.

Esta propuesta, alineada y complementaria al CONPES 4144 (2025) sobre Política Nacional de IA, trasciende un simple ejercicio académico para constituirse en un marco operativo con implicaciones prácticas inmediatas para decisores políticos a nivel nacional y territorial. Como señalan Ramírez-Ocampo y Velasco-Gutiérrez (2024), "la articulación de visiones estratégicas fundamentadas en evidencia empírica con mecanismos operativos claramente definidos constituye el puente necesario entre aspiración e implementación efectiva en política pública tecnológica" (p. 217).

El marco desarrollado en esta investigación proporciona precisamente estos elementos articuladores, ofreciendo tanto horizonte estratégico como mecanismos concretos de implementación contextualizada para los diversos territorios colombianos. Las evidencias recopiladas sugieren que su adopción podría acelerar significativamente la materialización de beneficios socioeconómicos asociados a la transformación digital avanzada, particularmente en dimensiones críticas como productividad sectorial, inclusión territorial y desarrollo humano integral.

## Consideraciones finales

La investigación, por último, evidencia que la IA representa una oportunidad histórica para que Colombia reconfigure su trayectoria de desarrollo, superando limitaciones estructurales mediante un aprovechamiento estratégico de esta tecnología transformadora. Acemoglu y Restrepo (2024) concluyen que las naciones

que desarrollen aproximaciones estratégicas cohesivas, equilibrando promoción de innovación con distribución equitativa de beneficios, lograrán posicionamientos ventajosos en la economía global reconfigurable por la IA.

Materializar esta visión requiere trascender aproximaciones fragmentadas o cortoplacistas, adoptando una perspectiva estratégica integral, sostenida en el tiempo y fundamentada en principios de inclusión, sostenibilidad y humanismo digital. El desafío fundamental es construir consensos amplios sobre la dirección estratégica del desarrollo nacional en la era de la inteligencia artificial.

Desde mi perspectiva, habiendo recorrido este proceso investigativo a profundidad, puedo afirmar que Colombia se encuentra en un momento definitorio para su trayectoria de desarrollo. La implementación estratégica de la inteligencia artificial no representa simplemente una oportunidad tecnológica, sino una reconfiguración fundamental del contrato social y productivo de nuestra nación. Mi análisis me ha llevado a comprender que el verdadero desafío trasciende lo meramente técnico para situarse en el ámbito de las decisiones colectivas sobre el tipo de sociedad que aspiramos construir.

La tecnología, en última instancia, es un medio para expandir capacidades humanas y territoriales, no un fin en sí mismo. El camino que he trazado en esta investigación busca contribuir a una conversación nacional necesaria sobre cómo aprovechar estas herramientas transformadoras para construir una Colombia más equitativa, productiva y sostenible, donde la digitalización avanzada sirva genuinamente al fortalecimiento de nuestro tejido social y capacidades colectivas.

Frente a este horizonte, me atrevería a proponer que el verdadero indicador de éxito de la estrategia aquí planteada no sería simplemente el incremento en indicadores económicos tradicionales, sino la expansión tangible de oportunidades y capacidades para aquellos territorios y comunidades históricamente marginados de los ciclos previos de transformación tecnológica.

## Referencias

- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), 2188-2244. <https://doi.org/10.1086/705716>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2022). Tasks, automation, and the rise in US wage inequality. *Econometrica*, 90(5), 1973-2016. <https://doi.org/10.3982/ECTA19815>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2024). *The impact of artificial intelligence on economic growth and labor markets*. MIT Press.

- Alkire, S., & Santos, M. E. (2023). Digital technologies and multidimensional poverty: Pathways for sustainable development. *Oxford Development Studies*, 51(2), 212-231. <https://doi.org/10.1080/13600818.2023.2176541>
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2020). Digitalization and the future of work: Macroeconomic consequences. En K. F. Zimmermann (Ed.), *Handbook of labor, human resources and population economics* (pp. 1-29). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57365-6\\_11-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57365-6_11-1)
- Ávila-Forero, R., & Gómez-Lucich, M. (2024). Inteligencia artificial e inclusión financiera: experiencias de éxito en Colombia. *Revista Latinoamericana de Economía*, 55(2), 12-38. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2024.215.69674>
- Bonilla-Castro, E., & Rodríguez-Gómez, G. (2024). *Gobernanza institucional para la transformación digital: modelos y aplicaciones*. Editorial Universidad Nacional.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W.W. Norton & Company.
- Calo, R., & Citron, D. K. (2024). The automated state: Regulatory challenges in the age of algorithmic governance. *Harvard Law Review*, 137(5), 1456-1512.
- Campillo-Artero, C., & Bernal-Delgado, E. (2021). Ecosistemas de innovación en salud: marcos conceptuales y experiencias internacionales. *Gaceta Sanitaria*, 35(1), 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.03.001>
- Cárdenas-Escobar, M., & Ramírez-Pulido, J. (2024). Barreras estructurales para la digitalización en territorios vulnerables: un análisis desde la perspectiva del desarrollo. *Revista de Estudios Territoriales*, 28(2), 178-196. <https://doi.org/10.15446/ret.v28n2.98765>
- Castellanos-Domínguez, G. (2024). Transformación tecnológica y desarrollo humano: más allá del crecimiento económico. *Revista Colombiana de Sociología*, 47(1), 145-172. <https://doi.org/10.15446/rsc.v47n1.105432>
- Castillo, R., & Martínez, A. (2022). Estrategias nacionales de inteligencia artificial en América Latina: análisis comparativo y desafíos pendientes. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 17(49), 131-158.
- CONPES 3975. (2019, 8 de noviembre). Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación.
- CONPES 4144. (2025). Política nacional de inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación.
- Crespi, G., Fernández-Arias, E., & Stein, E. (Eds.). (2022). *Digital technologies, productivity, and inclusive growth in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0004162>
- DANE. (2023). *Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (ENTIC)*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

- Dávila-Benavides, C., & Caicedo-Cerezo, E. (2024). Gobernanza multinivel para la transformación digital: el caso colombiano. *Innovar*, 34(71), 127-142. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n71.103579>
- Deloitte. (2023). *Impacto económico potencial de la IA en Colombia: proyecciones 2024-2034*. Deloitte Colombia.
- Drèze, J., & Sen, A. (2024). Technology and human development: New frontiers and persistent challenges. *Oxford Development Studies*, 52(2), 145-167. <https://doi.org/10.1080/13600818.2024.2298764>
- Duque-Escobar, J., & Maldonado-Atencio, A. (2023). Arquitecturas institucionales para la gobernanza de la transformación digital: lecciones de experiencias internacionales. *Revista de Administración Pública*, 58(4), 325-349. <https://doi.org/10.22201/fcpys.24484903e.2023.58.4.5>
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2023). Adaptive regulation for artificial intelligence systems: Design principles and implementation framework. *Journal of Artificial Intelligence Research*, (68), 1-18. <https://doi.org/10.1613/jair.1.13653>
- Flórez-Rojas, M., & Navarro-Silva, O. (2023). Marcos regulatorios para la inteligencia artificial: análisis comparativo internacional y lecciones para Colombia. *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, (20), 1-32. <https://doi.org/10.15425/redecom.20.2023.02>
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, (114), 254-280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- García-Murillo, M., & Vélez-Ospina, J. (2019). The digital divide in Colombia: The role of motivational and material access in the use and types of internet use. *Digital Policy, Regulation and Governance*, 21(5), 482-500. <https://doi.org/10.1108/DPRG-01-2019-0001>
- González-Rivera, C., & Sánchez-Mendoza, V. (2023). Inteligencia artificial y desarrollo humano: evidencia empírica de impactos multidimensionales. *Development Policy Review*, 41(4), e12654. <https://doi.org/10.1111/dpr.12654>
- Gutiérrez-Casas, L., & Moreno-Valencia, S. (2023). El estrato fundacional de exclusión tecnológica: infraestructuras básicas y apropiación digital en territorios vulnerables. *Cuadernos de Economía*, 42(124), 240-259. <https://doi.org/10.32997/ce-2023-4078>
- Gutiérrez-Moncada, J. (2024). Precondiciones habilitantes para la transformación digital: un marco analítico para contextos de alta vulnerabilidad. *Tecnología e Innovación*, 16(1), 47-65. <https://doi.org/10.15446/ti.v16n1.102483>
- Hernández-Mejía, S., Gómez-Arteaga, N., & Vega-Vaca, Y. C. (2022). Ecosistema emprendedor colombiano: evolución, desafíos y oportunidades para la innovación digital. *Cuadernos de Administración*, 35(64), 1-30. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao35.eeced>

- IDEAM. (2023). *Estudio nacional de vulnerabilidad hídrica*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- INNpulsar. (2023). *Mapa del ecosistema de emprendimiento digital en Colombia*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- Jaime-Acosta, F., & Rojas-Berrio, S. (2023). Centros regionales de innovación digital: propuesta para la descentralización del ecosistema tecnológico colombiano. *Revista Universidad & Empresa*, 25(45), 1-28. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.10587>
- Jaramillo-Medina, C., & Quintero-Rendón, P. (2022). Metodología para el análisis cualitativo documental en estudios de ciencia, tecnología y sociedad. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 17(50), 187-213.
- Lee, K., Malerba, F., & Pietrobelli, C. (2023). Catching up and innovation policies in developing countries: The case of digital technologies. *Research Policy*, 52(4), 104698. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104698>
- Llanos-Congote, A., & Sanabria-Aguirre, M. (2023). Brechas territoriales en infraestructura digital en Colombia: un análisis geoespacial. *Cuadernos de Geografía*, 32(1), 1-24. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v32n1.99156>
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming artificial intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, (90), 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>
- Martínez, L. (2023). Teoría de la regulación adaptativa: fundamentos y aplicaciones en contextos de rápida evolución tecnológica. *Revista de Derecho Económico*, 25(1), 37-58. <https://doi.org/10.15425/rede.25.1.2023.05>
- Matallana-Borda, J., & Sandoval-Garrido, D. (2024). Infraestructura digital como bien público: consideraciones de política para Colombia. *Lecturas de Economía*, (100), 32-59. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n100a339897>
- Mendoza-Castiblanco, F., & Pérez-Martínez, G. (2023). Cartografía de la exclusión energética en Colombia: análisis geoespacial y perspectivas de política pública. *Sociedad y Economía*, (49), 198-227. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i49.11482>
- Ministerio TIC. (2023). *Programa nacional de última milla: informe de implementación 2022-2023*. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2021). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 18(7), e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>
- Nussbaum, M. (2022). Technology and human capabilities: A capabilities approach to technological transformation. *Journal of Human Development and Capabilities*, 23(2), 61-89. <https://doi.org/10.1080/19452829.2022.2053324>
- Nussbaum, M., & Castellanos, A. (2023). Medir lo que importa: operacionalización del enfoque de capacidades para evaluar impactos tecnológicos. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Humano*, 15(3), 67-91. <https://doi.org/10.18356/jlhd.v15i3.2023.04>

- Observatorio de Conectividad Regional. (2024). *Índice de calidad de conectividad digital: Colombia 2023*. Universidad de los Andes.
- Osorio-Valencia, J., & Ramírez-Castro, P. (2024). Impacto multidimensional de la IA en indicadores de desarrollo humano: evidencia empírica para Colombia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (92), 1-42. <https://doi.org/10.13043/dys.92.1>
- PNUD. (2024). *Inteligencia artificial y desarrollo humano: evidencia global y recomendaciones de política*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Ramírez, J. (2021). Inteligencia artificial y desarrollo económico: oportunidades y desafíos para América Latina. *Revista CEPAL*, (132), 81-102. <https://doi.org/10.18356/9789210586276c007>
- Ramírez-Bustamante, F., & Yepes-Luján, F. (2023). Bioeconomía e inteligencia artificial: oportunidades estratégicas para Colombia. *Revista Bioeconomía y Cambio Climático*, 8(1), 24-47. <https://doi.org/10.5377/bioeco.v8i1.15839>
- Ramírez-Delgado, C., & Cárdenas-Valencia, M. (2023). Escalones jerárquicos de apropiación tecnológica: el papel de la seguridad hídrica en contextos vulnerables. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 20(1), 287-310. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr20.ejat>
- Ramírez-Ocampo, J., & Velasco-Gutiérrez, C. (2024). Del diseño a la implementación: puentes metodológicos para políticas públicas de transformación tecnológica. *Innovar*, 34(71), 211-229. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n71.103598>
- Restrepo-Quintero, D., & Naranjo-Valencia, J. C. (2024). Transformación productiva y mercado laboral en la era de la IA: evidencia del sector manufacturero colombiano. *Cuadernos de Administración*, 37(69), 101-138. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao37.tpml>
- Rodríguez-Garavito, C., & Santos, B. (2023). Gobernanza colaborativa para tecnologías emergentes: distribución democrática de capacidades regulatorias. *Revista de Estudios Socio-Jurídicos*, 25(2), 249-281. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/sociojuridicos/a.11572>
- Rodríguez-Pardo, M., & Gómez-Quintero, L. (2023). Biodiversidad colombiana como ventaja estratégica para el desarrollo de algoritmos especializados. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.15472/bn.v13i1.52390>
- Rodrik, D. (2023). *Place-based industrial strategies for technology-led development*. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w30578>
- Ruta N. (2023). *Evaluación de impacto del programa Industria 4.0+: transformación de capacidades laborales*. Alcaldía de Medellín.
- Sen, A. (2021). *Development as freedom: twenty years later*. Oxford University Press.
- Stevens, M., & Johnson, B. (2024). Regulatory capacity distribution in complex sociotechnical systems: A framework for collaborative governance. *Policy & Internet*, 16(1), 118-142. <https://doi.org/10.1002/poi3.342>

- Trujillo-Cabezas, R., & Martínez-Vargas, A. (2023). Agricultura de precisión basada en IA: impactos productivos y ambientales en el sector agroindustrial colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(2), 271-297. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.15673>
- Vélez-Tamayo, J., & Montoya-Restrepo, I. (2023). Sistemas de gobernanza colaborativa para la regulación de tecnologías emergentes. *Innovar*, 33(67), 7-28. <https://doi.org/10.15446/innovar.v33n67.95234>
- Zapata-Cantor, E., & Velasco-Medina, J. (2024). Oportunidades estratégicas para Colombia en la cadena global de valor de componentes electrónicos. *Revista de Economía del Caribe*, (29), 47-72. <https://doi.org/10.14482/ecoca.29.2412>

## Capítulo 3

# Inteligencia artificial para el fortalecimiento de la seguridad y defensa de Colombia\*

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606.03>

**Carlos Iván Moreno Ojeda**  
**Giovanni Alberto Gómez Rodríguez**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

**Resumen:** Este capítulo examina el potencial de implementación y uso práctico de la inteligencia artificial en las Fuerzas Militares de Colombia; identifica y propone vías para el empleo exitoso de algunas IA y sus capacidades en determinadas funciones de conducción de la guerra. Mediante un estudio de óptimos de aplicación, se relacionan problemas estratégicos con atributos de la IA, niveles de mando e impacto operativo. La investigación destaca consideraciones técnicas y éticas clave para la integración de la IA en el ámbito militar; asimismo, discute desde la teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto (TCTC) sobre la penetración y aceleración de las tecnologías de automatización militares impulsadas por IA, destacando el balance entre efectividad operacional y riesgos de potenciales daños y sus causas.

**Palabras clave:** ciberdefensa; ciberseguridad; defensa; inteligencia artificial; potencial de acción; seguridad

---

\* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "La gobernanza del ciberespacio: desafíos y oportunidades en procura de la autonomía y el control digital", del grupo de investigación "Ciberespacio, Tecnología e Innovación" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en C por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0181179. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen al autor y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

## **Carlos Iván Moreno Ojeda**

Mayor General (R) del Ejército Nacional de Colombia. Magíster en Ciberseguridad y Ciberdefensa, Magíster en Seguridad y Defensa Nacional y Magíster en Gerencia Estratégica del Talento Humano. Diplomado en Superioridad Cognitiva asistida por IA.

Contacto: [cmorenor2000@yahoo.es](mailto:cmorenor2000@yahoo.es)

## **Giovanni Alberto Gómez Rodríguez**

Coronel (R) del Ejército Nacional de Colombia. Doctor en Ciudadanía y Derechos Humanos (*cum laude*). Especialista en Gerencia de Telecomunicaciones y Telemática.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8208-0117> - Contacto: [giovanni.gomezr@esdeg.edu.co](mailto:giovanni.gomezr@esdeg.edu.co)

**Citación APA:** Moreno Ojeda, C. I., & Gómez Rodríguez, G. A. (2026). Inteligencia artificial para el fortalecimiento de la seguridad y defensa de Colombia. En M. E. Realpe Díaz & G. A. Gómez Rodríguez (Eds.), *Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* (pp. 91-134). Sello Editorial ESDEG. <https://doi.org/10.25062/9786287818606.03>

## **COLOMBIA INTELIGENTE. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS PARA UN NUEVO MODELO DE DESARROLLO**

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

ISBN digital: 978-628-7818-60-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606>

### **Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa**

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2026



## Introducción

El sistema internacional contemporáneo se caracteriza por una transformación acelerada en la distribución del poder entre Estados, donde tecnología emergente como la inteligencia artificial (IA) se configura como variable determinante en la reconfiguración de las capacidades militares y, por ende, del equilibrio estratégico global. Desde la perspectiva del realismo estructural, la estructura anárquica del sistema internacional obliga a los Estados a buscar ventajas relativas de poder para garantizar su supervivencia (Waltz, 1979); simultáneamente, las interdependencias complejas generan canales múltiples de interacción que intensifican las oportunidades de cooperación así como los riesgos de confrontación (Keohane & Nye, 2012). En este escenario dual, la IA representa no solo un instrumento de proyección de poder, sino un factor multiplicador de asimetrías estratégicas que redefine los términos de la competencia interestatal y las dinámicas del conflicto armado.

La tecnología militar ha fungido históricamente como catalizador de desbalances de poder entre actores estratégicos. La introducción de innovaciones disruptivas —desde la pólvora hasta las armas nucleares— ha generado ventanas temporales de supremacía para aquellos Estados capaces de desarrollar, adquirir o integrar dichas tecnologías antes que sus adversarios (Horowitz, 2010). La IA, con su capacidad para procesar volúmenes masivos de datos, automatizar procesos de decisión y optimizar sistemas de combate en tiempo real, constituye la más reciente manifestación de esta dinámica. Su carácter de *uso dual* amplifica su impacto estratégico, permitiendo aplicaciones tanto en el ámbito civil como militar, lo que intensifica la competencia tecnológica entre potencias y genera presiones para su adopción acelerada, incluso en contextos donde los marcos normativos y éticos permanecen en desarrollo (Bremmer & Suleyman, 2023). Esta *paradoja del*

*poder de la IA* enfrenta a los gobiernos con el dilema de maximizar las ventajas operacionales versus mitigar riesgos asociados a su implementación precipitada.

La teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto (TCTC) proporciona un marco analítico pertinente para comprender cómo la penetración de tecnologías de automatización impulsadas por IA transforma no solo las capacidades militares, sino la naturaleza misma de la guerra. Esta perspectiva teórica sostiene que las tecnologías emergentes convergen con estructuras organizacionales, doctrinas operacionales y contextos geopolíticos para producir nuevas formas de conflicto (Gilli & Gilli, 2019). La densidad tecnológica —entendida como la intensidad y sofisticación de la integración tecnológica en sistemas de combate— emerge como métrica crítica para evaluar la evolución de las capacidades militares. En este sentido, la IA incrementa exponencialmente la densidad tecnológica al habilitar la interoperabilidad de sistemas, la fusión de datos multisensor y la conducción de operaciones en múltiples dominios simultáneamente, incluyendo el ciberespacio, reconocido por la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) como el quinto dominio de la guerra.

Un rastreo sistemático de las principales tecnologías militares contemporáneas revela que la IA se encuentra integrada en sistemas que abarcan desde el mando y control (C2) hasta plataformas autónomas letales. El nivel de madurez tecnológica (*Technology Readiness Level*, TRL) de estas aplicaciones varía significativamente: mientras que sistemas de reconocimiento de patrones y análisis predictivo han alcanzado TRL 8-9 (pruebas operacionales completas), las plataformas completamente autónomas en combate permanecen en TRL 6-7 (demostración en entornos relevantes) (Boulanin & Verbruggen, 2017). Esta heterogeneidad en madurez tecnológica plantea desafíos específicos para fuerzas militares de países en desarrollo, que deben evaluar críticamente qué tecnologías son susceptibles de apropiación efectiva considerando sus capacidades institucionales, recursos disponibles y contextos operacionales particulares.

En el caso colombiano, las Fuerzas Militares enfrentan amenazas multidimensionales que incluyen grupos armados organizados, criminalidad transnacional y vulnerabilidades en infraestructuras críticas. Pese al rezago generalizado que exhiben los países de América Latina en el desarrollo de modelos lingüísticos grandes (LLM) propios, Colombia ha avanzado en la construcción de marcos normativos proactivos. El documento CONPES 4144, aprobado en febrero de 2025, establece la Política Nacional de Inteligencia Artificial con el objetivo de “generar las capacidades para la investigación, desarrollo, adopción y aprovechamiento ético y

sostenible de sistemas de IA" (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2025). Complementariamente, el MinCiencias ha identificado la seguridad y defensa como uno de los cinco entornos estratégicos prioritarios, considerando aplicaciones en administración territorial, industria aeroespacial y sistemas de detección temprana de amenazas (2025). No obstante, persiste una brecha significativa entre el desarrollo normativo y la implementación práctica de tecnologías de IA en sistemas de combate operacionales.

Esta investigación aborda la pregunta central: ¿Cuáles son las tecnologías de IA que podrían apropiar las Fuerzas Militares de Colombia (FF. MM.) para fortalecer sus capacidades y sistemas de combate, y cuáles son los riesgos potenciales asociados a su implementación? La hipótesis que orienta este trabajo sostiene que la IA en el ámbito militar constituye un factor determinante del éxito en las operaciones militares al actuar sobre todos los sistemas de combate y generar desequilibrios estratégicos que demandan su implementación acelerada; sin embargo, esta adopción debe valorar críticamente riesgos como los sesgos algorítmicos, la escalada autónoma y las implicaciones éticas del uso de fuerza letal automatizada, siendo imperativo alcanzar densidad tecnológica suficiente en plazos estratégicamente relevantes.

El objetivo general es analizar el potencial de acción de tecnologías específicas de IA susceptibles de integración en las FF. MM., evaluando su contribución al fortalecimiento de la seguridad y defensa nacional en el contexto del equilibrio estratégico regional. Los objetivos específicos son: 1) examinar el contexto estratégico contemporáneo desde las perspectivas del realismo estructural y las interdependencias complejas, identificando el rol de la tecnología como generador de asimetrías de poder; 2) analizar la teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto y la densidad tecnológica como marco teórico para comprender la penetración de la IA en sistemas militares, caracterizar las principales tecnologías militares basadas en IA actualmente empleadas, evaluando su nivel de madurez tecnológica (TRL) y funcionalidad operacional; 3) evaluar la adecuación funcional de tecnologías de IA específicas para los sistemas de combate de las FF. MM., aportando recomendaciones para el desarrollo e implementación de IA en el sector defensa colombiano, considerando riesgos éticos, operacionales y los marcos normativos vigentes.

Con la expresión *potencial de acción* se introduce una analogía con la fisiología humana: las células activan el sistema nervioso suministrando una carga eléctrica denominada potencial de acción, que estimula y produce el movimiento en un flujo

de variaciones y ciclos cinéticos (Moczydlowski, 2017). Análogamente, la IA contiene un potencial transformador inmenso e impredecible que, encauzado hacia fines estratégicamente justificados e integrado a sistemas de controles normativos institucionales, puede generar ventajas operacionales que excedan los riesgos inherentes. En concreto, el presente trabajo constituye un ejercicio de reducción de la oferta tecnológica: dada la reciente proliferación de modelos y aplicaciones de IA, se desarrolla un proceso de selección funcional orientado a identificar aquellas tecnologías que, considerando las características operacionales, los recursos disponibles y el contexto estratégico colombiano, ofrecen el mayor potencial de apropiación efectiva para el fortalecimiento de las capacidades de seguridad y defensa nacional.

La presente investigación adopta un enfoque metodológico cualitativo enmarcado en el paradigma constructivista, naturalista e interpretativo, el cual reconoce la realidad como subjetiva y múltiple, donde el investigador se encuentra inmerso en el contexto de las relaciones que estudia y sus valores forman parte integral del proceso de conocimiento (Sautu et al., 2005). Este diseño metodológico resulta adecuado para analizar las políticas y estrategias existentes para el desarrollo de la IA en el ámbito militar, así como las consideraciones éticas, legales y operacionales que deben contemplarse en su implementación. La investigación emplea la inducción analítica y considera las influencias recíprocas entre múltiples factores —tecnológicos, estratégicos, normativos y contextuales— que configuran el potencial de apropiación de tecnologías de IA por parte de las FF. MM. de Colombia. La estimación del estudio de óptimos de aplicación se realiza mediante la revisión sistemática de casos internacionales, el análisis funcional de las capacidades aportadas por la IA a cada sistema de combate, la evaluación de técnicas específicas de aprendizaje automático y su correspondencia con niveles de conducción de la guerra, todo ello valorado desde la coherencia doctrinal militar y la experiencia del investigador.

El proceso investigativo comprende tres fases metodológicas complementarias. Primero, se realizó una revisión exhaustiva y análisis crítico de la literatura especializada sobre IA y su aplicación en el ámbito militar, incluyendo informes y documentos de entidades nacionales e internacionales (CONPES, MinCiencias, OTAN, SIPRI), artículos científicos en revistas indexadas, libros académicos y publicaciones técnicas especializadas. Segundo, se estudiaron casos de éxito en la adopción de IA en sistemas de defensa de países con capacidades militares avanzadas, identificando buenas prácticas, lecciones aprendidas y factores

críticos de éxito susceptibles de adaptación al contexto operacional, institucional y presupuestario colombiano. Finalmente, se ejecutó un proceso de transposición e integración de datos mediante el cual se articularon problemas estratégicos y retos operacionales específicos del contexto colombiano con tecnologías de IA seleccionadas, evaluando su funcionalidad, nivel de madurez tecnológica (TRL), correspondencia con los niveles táctico, operacional y estratégico de conducción de la guerra, y su potencial contribución al fortalecimiento de sistemas de combate particulares, generando así una matriz de óptimos de aplicación que orienta las recomendaciones de implementación.

La teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto (TCTC) se emplea como marco analítico transversal que articula las tres fases metodológicas descritas, permitiendo interpretar cómo las tecnologías de IA no operan de manera aislada, sino que convergen con estructuras organizacionales militares, doctrinas operacionales y contextos geopolíticos específicos para transformar la naturaleza del conflicto armado (Gilli & Gilli, 2019). Esta teoría fundamenta el análisis de la densidad tecnológica como variable crítica, facilitando la evaluación de la capacidad de las FF. MM. de Colombia para integrar efectivamente tecnologías de IA considerando no solo su disponibilidad técnica, sino también la adaptación institucional, la formación del recurso humano y la coherencia doctrinal requeridas para su empleo exitoso, reconociendo que la mera adquisición tecnológica sin convergencia estructural resulta insuficiente para generar ventajas operacionales sostenibles.

## El contexto estratégico contemporáneo y la tecnología como generador de asimetrías de poder

El sistema internacional contemporáneo se encuentra en una fase de reconfiguración acelerada caracterizada por la convergencia de dos fuerzas aparentemente contradictorias, pero profundamente interrelacionadas: la estructura anárquica que impulsa la competencia por el poder entre Estados y las interdependencias complejas que generan canales múltiples de interacción y vulnerabilidad mutua. Desde la perspectiva del realismo estructural neoclásico, la ausencia de una autoridad supranacional que garantice la seguridad de los actores estatales conduce inexorablemente a comportamientos de autoayuda (*self-help*), donde cada Estado

busca maximizar su poder relativo para asegurar su supervivencia en un entorno fundamentalmente competitivo (Waltz, 1979; Mearsheimer, 2001). Sin embargo, esta lógica tradicional del dilema de seguridad se ha complejizado exponencialmente en el siglo XXI debido a la proliferación de interdependencias tecnológicas, económicas y estratégicas que vinculan a los Estados en redes de dependencia asimétrica, donde la capacidad de un actor para explotar estas conexiones puede traducirse en ventajas coercitivas sin recurrir necesariamente al uso de la fuerza militar convencional (Keohane & Nye, 2012).

Esta dualidad estructural —competencia por el poder e interdependencia compleja— ha convertido a la tecnología en la variable crítica que determina tanto las capacidades de proyección de poder como las vulnerabilidades estratégicas de los Estados. La IA, en particular, representa el epicentro de esta transformación, configurándose simultáneamente como instrumento de supremacía militar, herramienta de dominación económica y fuente de dependencia tecnológica. En 2024, Estados Unidos invirtió USD 109 100 millones en IA privada, casi doce veces la inversión de China (USD 9300 millones) y veinticuatro veces la del Reino Unido (USD 4500 millones) (Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, 2025), evidenciando cómo la carrera tecnológica reproduce y amplifica las asimetrías de poder existentes entre las grandes potencias. No obstante, la adopción de IA en India y China lidera globalmente con aproximadamente 60 % de los profesionales de TI (tecnologías de la información) indicando que sus empresas están incorporando activamente IA, superando significativamente a países como Corea del Sur (22 %), Australia (24 %), Estados Unidos (25 %) y Reino Unido (26 %) (Vention, 2024), lo que sugiere que la difusión tecnológica no sigue una trayectoria lineal determinada exclusivamente por la capacidad de inversión, sino que está mediada por factores institucionales, culturales y estratégicos específicos de cada contexto nacional.

En este marco de competencia tecnológica global el conflicto entre Rusia y Ucrania iniciado con la invasión a gran escala en febrero de 2022, ha emergido como el primer conflicto interestatal de alta intensidad donde la integración masiva de IA en sistemas de combate ha redefinido fundamentalmente las dinámicas operacionales, tácticas y estratégicas de la guerra moderna. En 2024, Ucrania avanzó en el desarrollo de drones capaces de fijarse en objetivos identificados por operadores durante la fase final de vuelo antes del impacto, neutralizando las tecnologías de guerra electrónica rusas que típicamente buscan interrumpir la conexión entre drones y operadores (Kushnerska, 2025). Esta innovación representa

un salto cualitativo en la autonomía de sistemas de armas, donde la inteligencia artificial permite a las plataformas no tripuladas mantener su efectividad operacional incluso en entornos electromagnéticos altamente degradados, un escenario cada vez más común en el campo de batalla contemporáneo.

La escala y velocidad de la innovación tecnológica en Ucrania ha sido sin precedentes. De casi dos millones de drones contratados por Kiev en 2024 —96 % de los cuales fueron construidos en Ucrania— solo 10 000 utilizaron definitivamente guía de IA, menos de medio por ciento (Bondar, 2025). Sin embargo, este reducido porcentaje ha generado resultados operacionales extraordinariamente desproporcionados: al eliminar la necesidad de control manual constante y comunicaciones estables, los drones habilitados con navegación autónoma elevan la tasa de éxito de enfrentamiento con objetivos del 10-20 % a alrededor del 70-80 % (Bondar, 2025). Esta mejora dramática en la efectividad ha llevado a que el militar ucraniano planea que al menos la mitad de los drones que compre en 2025 tengan guía de IA, un incremento del 0,5 % al 50 % (Bondar, 2025), ilustrando cómo la ventaja operacional demostrada en combate acelera exponencialmente la adopción tecnológica.

El conflicto ha validado empíricamente teorías sobre la transformación de la guerra mediante automatización y sistemas autónomos. En diciembre de 2024, las fuerzas ucranianas llevaron a cabo la primera operación completamente no tripulada cerca de Lyptsi, un pueblo al norte de Járkov, involucrando docenas de vehículos terrestres no tripulados (UGV) y drones de vista en primera persona (FPV), sin participación de infantería (Center for Strategic and International Studies, 2025). Esta operación multidominio exclusivamente robotizada representa un punto de inflexión en la historia militar, demostrando la viabilidad operacional de formaciones de combate completamente autónomas capaces de ejecutar misiones complejas sin exposición directa de personal humano. La capacidad de Ucrania para iterar rápidamente nuevas soluciones tecnológicas —facilitada por una arquitectura descentralizada de innovación que involucra a más de 500 fabricantes y la plataforma gubernamental Brave1— contrasta marcadamente con los sistemas más centralizados y burocráticos de desarrollo de capacidades militares, evidenciando cómo la agilidad institucional se ha convertido en una variable crítica de efectividad militar en la era de la IA (Kushnerska, 2025).

Paralelamente a estas transformaciones en el campo de batalla, Rusia, consciente de las ganancias tácticas y operacionales que Ucrania ha logrado mediante el uso intensivo de drones, ha intensificado sus propios esfuerzos de desarrollo. En agosto de 2024, funcionarios rusos anunciaron una nueva estrategia de defensa

de diez años que presenta un enfoque dedicado en IA, con el ministro de Defensa ruso Andrei Belousov declarando en octubre que los drones impulsados por IA están desempeñando un papel fundamental en el campo de batalla en Ucrania (Lawfare Media, 2024). Esta carrera de innovación bilateral ilustra un fenómeno central observado en la historia militar: cuando una innovación demuestra ventajas decisivas en combate real, los adversarios enfrentan una presión existencial para igualar o superar esas capacidades, independientemente de las consideraciones éticas, legales o presupuestarias.

La competencia estratégica por tecnologías avanzadas abarca no solo los sistemas de armas, sino también el control de los materiales críticos necesarios para su producción. En este contexto, los elementos de tierras raras (ETR) —un conjunto de diecisiete metales con propiedades irremplazables a escala industrial— se han convertido en un eje central de la rivalidad entre grandes potencias, dada su función en la fabricación de componentes esenciales en sistemas de defensa, vehículos eléctricos, turbinas eólicas y dispositivos electrónicos avanzados. China ha consolidado una posición dominante en esta cadena de valor: en 2024, concentró alrededor del 60 % de la producción minera global de tierras raras utilizadas en imanes para diversas industrias. Sin embargo, su predominio es aún más marcado en las etapas de separación y refinamiento, donde representó aproximadamente el 91 % de la producción mundial (International Energy Agency, 2025).

Esta concentración otorga a Beijing un apalancamiento geopolítico significativo. En abril de 2025, China impuso controles de exportación sobre siete ETR pesados y sus derivados, provocando una caída abrupta en los volúmenes exportados durante abril y mayo. La medida generó escasez de imanes permanentes en industrias automotrices de Estados Unidos, Europa y otras regiones, obligando a varias plantas a reducir operaciones o cerrar temporalmente (International Energy Agency, 2025). El uso de estas cadenas de suministro como instrumentos de coerción diplomática constituye una manifestación contemporánea de poder estructural, en la que el control de puntos de estrangulamiento tecnológicos permite influir en las decisiones estratégicas de otros Estados sin recurrir a la fuerza militar (Farrell & Newman, 2019).

La respuesta occidental frente a esta vulnerabilidad estratégica ha sido multifacética, aunque tardía. En Estados Unidos, el Congreso aprobó la Sección 1411 de la Ley de Autorización de Defensa Nacional de 2024, ordenando la independencia de tierras raras de China, Rusia, Corea del Norte e Irán para 2035 (U.S. Congress, 2024), fijando así un horizonte para la diversificación de las fuentes de suministro.

No obstante, estos plazos contrastan con la urgencia operativa derivada de la dependencia actual. El acuerdo anunciado el 10 de julio de 2025 constituye la mayor inversión del gobierno estadounidense en el sector de tierras raras, reflejando el reconocimiento de las vulnerabilidades estratégicas asociadas a la dependencia de proveedores chinos, con una compra de capital de USD 400 millones que convertirá al gobierno de Estados Unidos en el mayor accionista de MP Materials (Geopolitical Monitor, 2025). Esta intervención directa del Estado en la estructura de propiedad de empresas estratégicas marca un giro significativo en la política industrial estadounidense, tradicionalmente reacia a participaciones gubernamentales en capital privado, evidenciando cómo las consideraciones de seguridad nacional están redefiniendo los límites tradicionales entre sector público y privado en áreas tecnológicas críticas.

La competencia por ETR se inscribe en una dinámica más amplia de rivalidad tecnológica donde las proyecciones futuras resultan particularmente preocupantes para las potencias occidentales. Un informe de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial estima que para 2030 China concentrará el 45 % del valor agregado manufacturero global, frente a 11 % de Estados Unidos, 5 % de Japón y 3 % de Alemania (UNIDO, 2024). Esta trayectoria indica un proceso acelerado de concentración del poder manufacturero —históricamente vinculado a capacidades militares y de proyección de influencia— en manos de un solo Estado. A ello se suma la evidencia del Australian Strategic Policy Institute (2024), según la cual China supera a Estados Unidos en 57 de 64 categorías de tecnología crítica, lo que confirma que su supremacía no se limita a sectores de tecnología media, sino que se extiende hasta el ápice de la pirámide tecnológica.

Estas dinámicas de competencia tecnológica global encuentran una expresión concreta en la proyección de poder militar en escenarios regionales específicos. En este marco, Estados Unidos ejecutó en 2025 el mayor despliegue militar en el Caribe en décadas, oficialmente presentado como una operación de interdicción del narcotráfico, pero con implicaciones geopolíticas mucho más amplias. En noviembre de 2025, el portaaviones USS Gerald R. Ford, el más grande del mundo, ingresó al mar Caribe con más de 4000 marineros y decenas de aeronaves tácticas, uniéndose a los 15 000 efectivos ya posicionados en la región (National Public Radio, 2025). La magnitud del despliegue excede manifiestamente cualquier requerimiento concebible para operaciones antidroga. La concentración de capacidades de proyección de fuerza —incluyendo el grupo de portaaviones USS Gerald R. Ford, submarinos de ataque nuclear, destructores lanzamisiles, bombarderos

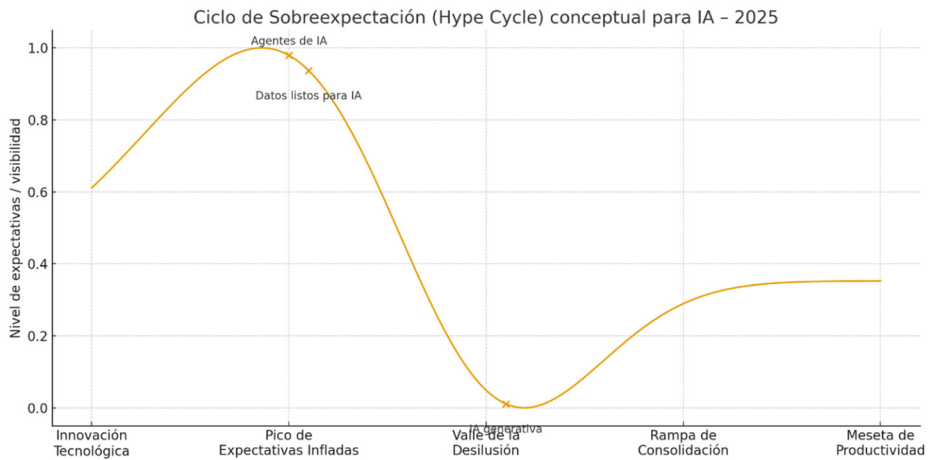
B-52 y drones MQ-9 Reaper— configura una postura operacional compatible con operaciones de espectro completo, incluyendo ataques cinéticos contra infraestructura de cárteles, interdicción costera y potencialmente operaciones en entornos negados.

Mientras estas transformaciones geopolíticas y militares avanzan, la difusión global de tecnologías de IA revela patrones profundamente heterogéneos que reflejan tanto capacidades económicas dispares como estrategias nacionales divergentes. En 2024, el 78 % de las organizaciones reportó usar IA, consolidándola como una herramienta operacional estándar en el sector empresarial (McKinsey & Company, 2025). Paralelamente, la base de usuarios individuales ha crecido de manera exponencial: se proyecta un aumento adicional del 20 % para 2025, alcanzando 378 millones de usuarios, lo que confirma la transición de la IA —en apenas cinco años— de concepto futurista a tecnología *mainstream* que reconfigura industrias y prácticas cotidianas (Edge AI and Vision Alliance, 2025).

Este ritmo de adopción supera ampliamente el de revoluciones tecnológicas anteriores, como la computación en la nube o la economía de aplicaciones móviles. Sin embargo, persisten fuertes asimetrías geográficas: Estados Unidos concentrará un tercio de los nuevos usuarios globales en 2025, alcanzando 133 millones de usuarios, una cifra que supera en cincuenta millones el total combinado de China, Alemania y Japón, los siguientes tres mercados más grandes (Edge AI and Vision Alliance, 2025). Estas disparidades muestran que la disponibilidad de talento, la regulación y las presiones competitivas locales influyen más decisivamente en la integración de IA que el nivel general de desarrollo económico.

El análisis de la madurez tecnológica de diferentes aplicaciones de IA revela transiciones significativas en las percepciones y realidades de implementación. El Ciclo de Sobreexpectación (*Hype Cycle*) de Gartner para inteligencia artificial 2025 proporciona una cartografía refinada de estas dinámicas. Los agentes de IA y los datos listos para IA son las dos tecnologías que avanzan más rápido, experimentando un interés elevado este año acompañado de proyecciones ambiciosas y promesas especulativas, ubicándolas en el pico de expectativas infladas, mientras que la IA generativa entra en el valle de la desilusión a medida que las organizaciones obtienen comprensión de su potencial y límites (Gartner, 2025). Esta transición de la IA generativa desde el pico de expectativas infladas hacia el valle de la desilusión no representa un fracaso tecnológico, sino una recalibración necesaria donde las expectativas iniciales excesivas ceden ante realidades de implementación, incluyendo desafíos de gobernanza, alucinaciones de modelos, sesgos algorítmicos y complejidades de integración con sistemas heredados.

**Figura 1.** Tendencias de desarrollo de la inteligencia artificial



**Fuente:** elaboración propia con base en Gartner Hype Cycle (2025).

Ciclo de Sobreexpectación (Hype Cycle) para IA 2025 con cinco fases en el eje horizontal:

1. innovación tecnológica, 2) pico de expectativas infladas, 3) valle de la desilusión, 4) rampa de consolidación y 5) meseta de productividad.

Tecnologías:

- Agentes de IA → marcados en el pico de expectativas infladas, en el máximo de la curva. Representan tecnologías con visibilidad extrema, fuertes promesas de disrupción y aún con alta incertidumbre respecto de su maduración real en organizaciones complejas.
- Datos listos para IA → también en el pico, ligeramente desplazados, mostrando que la agenda de *AI-ready data* se encuentra sometida a un entusiasmo similar, asociado a promesas de resolver los cuellos de botella de calidad, gobernanza y accesibilidad de datos.
- IA generativa → situada en el valle de la desilusión, donde la curva desciende bruscamente. Esta ubicación refleja que, tras el auge inicial, las organizaciones empiezan a identificar fricciones regulatorias, costes de implementación, riesgos de seguridad y limitaciones de desempeño. El descenso no implica irrelevancia, sino una fase de ajuste: las expectativas se recalibran y solo los casos de uso con valor probado avanzan hacia la rampa de consolidación.

La Figura 1 muestra cómo en 2025 la prioridad discursiva y de inversión se concentra en agentes de IA y datos listos para IA (zona de *hype* máximo), mientras que la IA generativa se reubica como tecnología en proceso de maduración crítica, obligando a los decisores militares y de seguridad a diferenciar entre promesas especulativas y capacidades efectivas en escenarios de alta criticidad estratégica.

Estas tendencias tecnológicas se inscriben en una transformación más amplia de la naturaleza misma del conflicto armado. La evolución conceptual de la guerra refleja transformaciones en la tecnología disponible, las estructuras organizacionales de las fuerzas armadas y los contextos geopolíticos donde se despliegan. Las guerras contemporáneas de alta tecnología representan un salto cualitativo respecto a formas previas de conflicto, caracterizándose por la desmaterialización del campo de batalla, la disolución de distinciones entre combatientes y no combatientes, la prominencia de actores no estatales y la integración de elementos convencionales, irregulares, cibernéticos y económicos en estrategias híbridas. La guerra cognitiva —entendida como la manipulación sistemática de percepciones, narrativas y procesos de toma de decisiones a través de operaciones de información y desinformación (Álvarez et al., 2018)— ha emergido como dominio crítico de confrontación, donde la victoria no necesariamente requiere destrucción física del adversario sino erosión de su cohesión social, voluntad política y capacidad de movilización colectiva.

La relación entre la guerra contemporánea y las revoluciones industriales 4.0 y 5.0 es simbiótica y mutuamente constitutiva. La industria 4.0 —caracterizada por digitalización, internet de las cosas (IoT), robótica avanzada y computación en la nube— proporciona la infraestructura técnica que habilita operaciones militares descentralizadas, adaptativas y basadas en datos. La IA actúa como tecnología integradora que permite extraer valor operacional de la generación masiva de datos, facilitando capacidades de anticipación, detección y mitigación proactiva de amenazas complejas (Vea, 2018). En escenarios de conflicto moderno, la IA no solo multiplica la efectividad de sistemas de armas individuales, sino que transforma cualitativamente la naturaleza misma del combate al permitir operaciones coordinadas de enjambres autónomos, fusión de inteligencia multidominio en tiempo real y ciclos de decisión comprimidos que exceden las capacidades cognitivas humanas sin asistencia tecnológica.

Sin embargo, la aceleración en el desarrollo y despliegue de tecnologías militares impulsadas por IA genera dilemas éticos profundos que trascienden consideraciones puramente operacionales o estratégicas. Cualquier innovación tecnológica

que afecte sistemas vivos —incluyendo decisiones sobre vida y muerte en contextos de combate— debe ser evaluada no solo por su efectividad instrumental sino por sus implicaciones para valores fundamentales como dignidad humana, equidad y responsabilidad moral. La apropiación de IA en sistemas de armas letales plantea interrogantes sobre la delegación de decisiones de uso de fuerza letal a algoritmos que, por definición, carecen de capacidad para juicio moral contextual, empatía o comprensión de las dimensiones éticas irreductibles de la violencia.

La dimensión distributiva de la justicia global intensifica estas preocupaciones éticas. Las naciones con mayores recursos económicos y tecnológicos tendrían ventajas estratégicas considerables sobre las menos desarrolladas, aumentando así la brecha tecnológica existente, con dicha disparidad pudiendo impactar de forma transversal en otras dimensiones como la económica, social y política, exacerbando condiciones de pobreza, precariedad y marginación en países y comunidades vulnerables. La posibilidad de que aceleraciones tecnológicas asimétricas cristalicen nuevas formas de dominación estructural —donde Estados con capacidades avanzadas de IA puedan imponer sus preferencias mediante amenazas creíbles de superioridad militar insuperable— contradice principios normativos de igualdad soberana y autodeterminación que fundamentan el orden internacional westfaliano, por más que dicho orden haya sido siempre más ideal-típico que empíricamente realizado.

Finalmente, la comprensión profunda de las capacidades, limitaciones y trayectorias evolutivas de la IA requiere marcos teóricos que trasciendan aproximaciones puramente instrumentales o ingenieriles. Los sistemas de IA contemporáneos funcionan como entidades cuasiautónomas capaces de aprendizaje, adaptación y comportamiento emergente no completamente predecible por sus diseñadores originales. La materia prima de estos sistemas es información procesada mediante algoritmos que, en sistemas de aprendizaje profundo contemporáneos, generan representaciones internas y estrategias de decisión que pueden ser opacos incluso para expertos humanos, fenómeno conocido como el problema de la *caja negra* algorítmica.

Esta perspectiva teórica resulta particularmente pertinente para comprender las Fuerzas Militares como sistemas adaptativos complejos, donde múltiples agentes —humanos, sistemas automatizados, redes de comunicación— interactúan de maneras no lineales, generando patrones de comportamiento colectivo que no pueden ser completamente anticipados mediante planificación centralizada tradicional. Los autómatas celulares, donde reglas locales simples generan

patrones globales de complejidad emergente, sirven como modelo conceptual para comprender cómo la integración de IA en sistemas militares puede producir dinámicas operacionales cualitativamente nuevas que exceden las intenciones o expectativas de quienes diseñan componentes individuales del sistema. Esta imprevisibilidad inherente a sistemas complejos adaptativos impone límites fundamentales a la controlabilidad y predictibilidad de capacidades militares basadas en IA, generando riesgos de escalada autónoma, efectos secundarios no anticipados y posibles fallos catastróficos en escenarios de alta presión operacional.

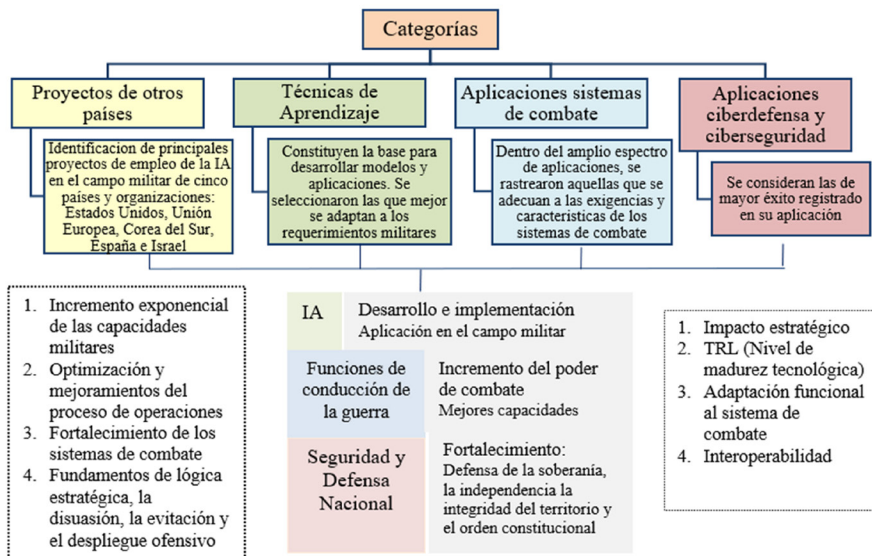
## Inteligencia artificial en sistemas militares: convergencia tecno-estructural, densidad tecnológica, TRL y funcionalidad operacional

En un contexto de amenazas a la seguridad que evolucionan rápidamente —desde ciberataques sofisticados hasta conflictos asimétricos y terrorismo— la vigilancia tecnológica emerge como herramienta esencial para que gobiernos e instituciones de defensa identifiquen, evalúen e integren tecnologías avanzadas de IA en sus estrategias de seguridad. Este proceso sistemático de recopilación, análisis y difusión de información sobre desarrollos tecnológicos emergentes (Observatorio Tecnológico de la Universidad de Alicante, s. f.) permite monitorear avances recientes, identificar oportunidades de mejora capacitiva y anticipar amenazas potenciales.

La vigilancia tecnológica aplicada al ámbito militar se estructuró metodológicamente en cuatro categorías deductivas: 1) proyectos de alto potencial e impacto en desarrollo en otros países; 2) técnicas de aprendizaje que fundamentan modelos diseñados para funciones específicas; 3) aplicaciones compatibles con uso militar e implementación exitosa en funciones de conducción de la guerra; y 4) aplicaciones específicas para ciberdefensa y ciberseguridad. Este trabajo sistemático genera un elenco de funcionalidades de IA susceptibles de desarrollo o adquisición a corto y mediano plazo por las FF. MM. de Colombia, asegurando el incremento exponencial de capacidades militares, la optimización del proceso de operaciones, el fortalecimiento de sistemas de combate y la capacidad de respuesta, junto a fundamentos estratégicos preponderantes en seguridad y defensa nacional —tales como disuasión, evitación y despliegue ofensivo— orientados hacia el bienestar como máximo fin del Estado mediante la provisión de seguridad y desarrollo (Fuerzas Militares de Colombia, 1996).

De esta forma, el marco lógico de las soluciones propuestas que se presenta en la Figura 2, corresponde a la variación directa anteriormente descrita, en función del desarrollo de la IA como variable independiente. Incorpora, además, objetivos que se ponderaron las cuatro categorías empleadas; criterios como el impacto, el TRL (nivel de madurez tecnológica); la adaptación funcional al sistema de combate y la interoperabilidad e integración con otras fuerzas.

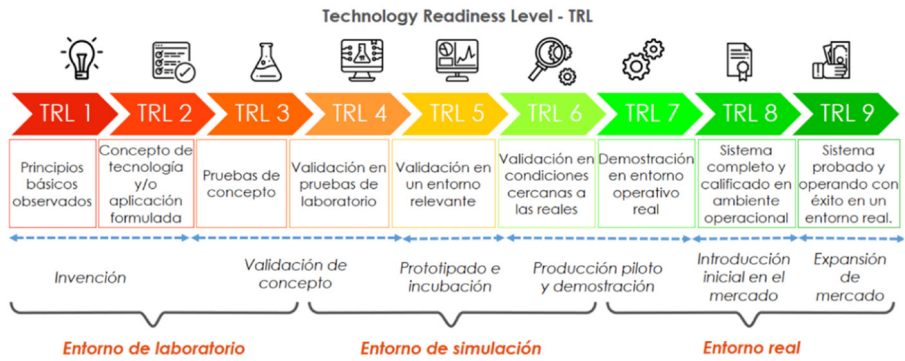
**Figura 2.** Desarrollo de la IA y fortalecimiento de la defensa nacional



**Fuente:** elaboración propia.

Uno de los criterios de mayor peso para la selección y priorización de técnicas, aplicaciones y proyectos es el nivel de madurez tecnológica (TRL), una medida del estado de desarrollo de una tecnología, propuesto por la NASA en los años 1970 con el objetivo de medir lo lejos que estaba una tecnología para ser desplegada en el espacio.

Figura 3. Niveles de maduración tecnológica



Fuente: MinCiencias (2016).

Se han dispuesto las técnicas de aprendizaje, las aplicaciones de uso general y aquellas de uso específico en ciberdefensa y ciberseguridad. Se ha evaluado su impacto y potencial desde cinco variables: capacidades de inteligencia y vigilancia, capacidad de respuesta autónoma, adaptabilidad y aprendizaje continuo, interoperabilidad con otras fuerzas y estrategia de información y desinformación; asimismo, se han ubicado en la función de conducción de la guerra a la que mayores beneficios aporta por su naturaleza funcional.

Capacidad de inteligencia y vigilancia (CIV)

Habilidad para recopilar, analizar y sintetizar información relevante de múltiples fuentes para la toma de decisiones. Criterios de evaluación: precisión en la recopilación de datos, actualización en tiempo real, capacidad de identificar patrones y tendencias.

Capacidad de respuesta autónoma (CRA)

Nivel de autonomía en la toma de decisiones y ejecución de acciones sin intervención humana directa. Criterios de evaluación: rapidez de reacción, precisión en la toma de decisiones, nivel de autonomía ajustable, confiabilidad en la ejecución.

Adaptabilidad y aprendizaje continuo (AAC)

Capacidad para modificar su comportamiento y mejorar su desempeño a partir de la experiencia y nuevos datos. Criterios de evaluación: velocidad de aprendizaje,

eficacia en la adaptación a cambios inesperados, capacidad para integrar nuevos conocimientos.

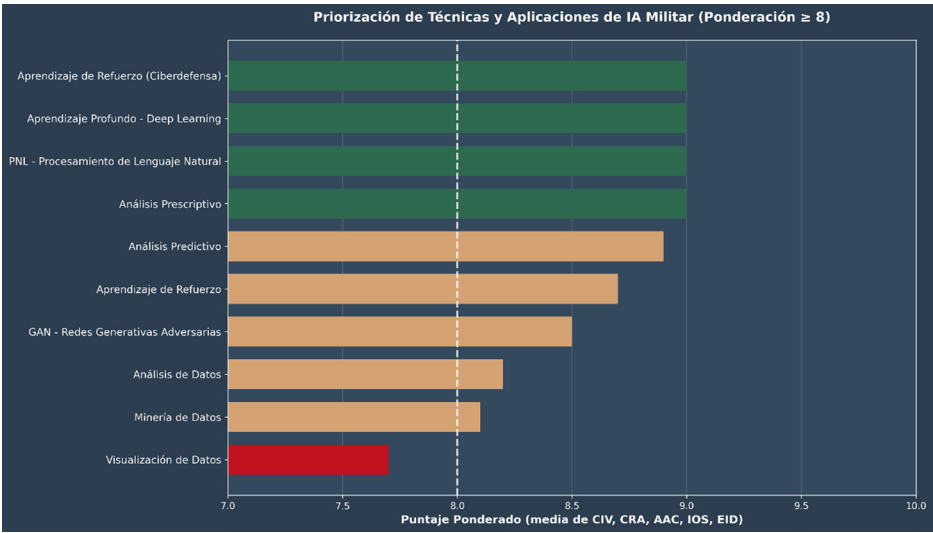
### Interoperabilidad con otros sistemas (IOS)

Facilidad para integrarse y comunicarse con otros sistemas, plataformas o infraestructuras tecnológicas. Criterios de evaluación: compatibilidad con distintos sistemas, facilidad de implementación, eficacia en el intercambio de datos y comandos.

### Estrategias de información y desinformación (EID)

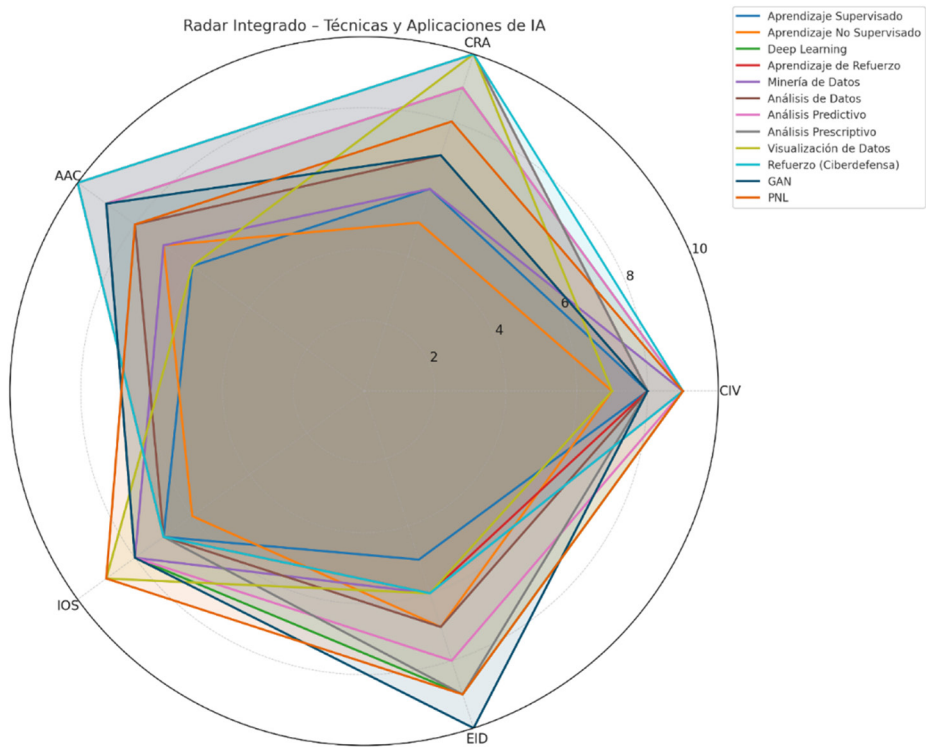
Capacidad para gestionar y manipular información con fines estratégicos, tanto en la difusión de datos verídicos como en la generación de desinformación. Criterios de evaluación: precisión y efectividad en la difusión de mensajes, impacto en la percepción de la audiencia, capacidad para contrarrestar desinformación adversaria. En la escala de 1 a 10 se ponderaron y priorizaron los resultados (Figura 4).

Figura 4. Priorización de técnicas y aplicaciones de IA militar



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Radar integrado de técnicas y aplicaciones de IA en el ámbito militar



Fuente: elaboración propia.

Las figuras 4 y 5 sintetizan la evaluación comparada de técnicas de aprendizaje automático y aplicaciones de IA (tanto generales como específicas de ciberdefensa), utilizando una escala común de 1 a 10. De esta forma, permite identificar:

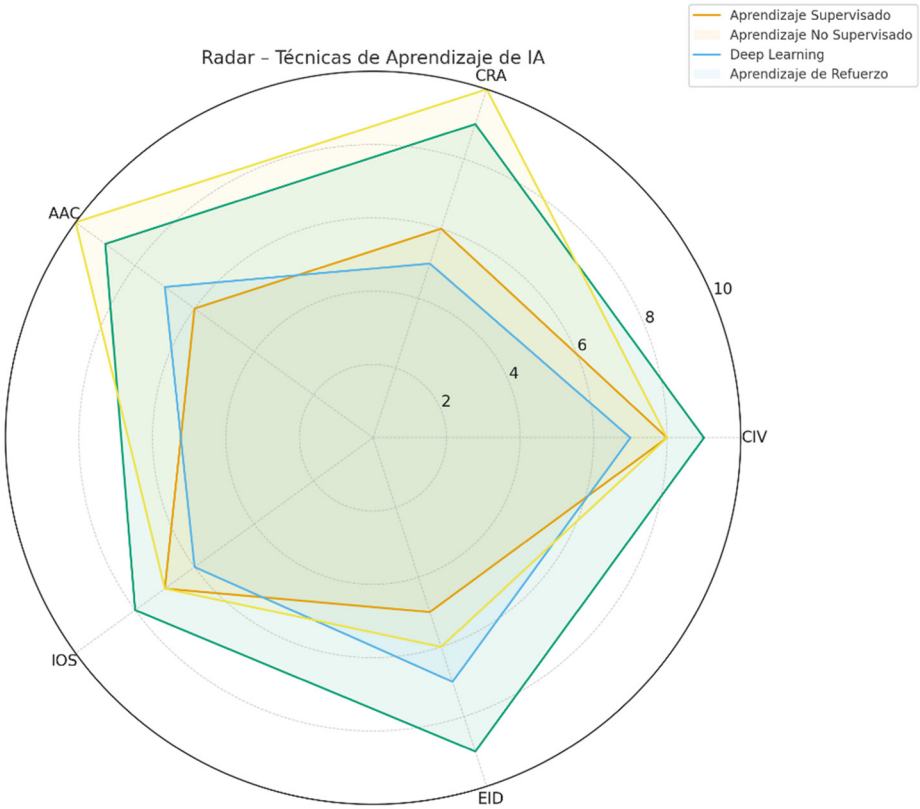
- Fortalezas relativas de cada técnica en función de las variables claves.
- Patrones de especialización según el tipo de aplicación.
- Brechas y sinergias entre capacidades de IA aplicadas a funciones de conducción de la guerra.
- Priorizaciones cuantitativas derivadas del puntaje total ponderado.

Para apreciar mejor la priorización de técnicas y aplicaciones de IA en el ámbito militar, se elaboró una figura por cada segmento:

## Técnicas de aprendizaje de IA

Aprendizaje supervisado; aprendizaje no supervisado; *deep learning*; aprendizaje de refuerzo. La Figura 6 permite visualizar comparativamente cómo se distribuyen las capacidades clave en cada tipo de técnica, destacándose *deep learning* y aprendizaje de refuerzo como los más robustos en todas las variables estratégicas (CIV, CRA, AAC, IOS, EID).

**Figura 6.** Radar técnicas de aprendizaje

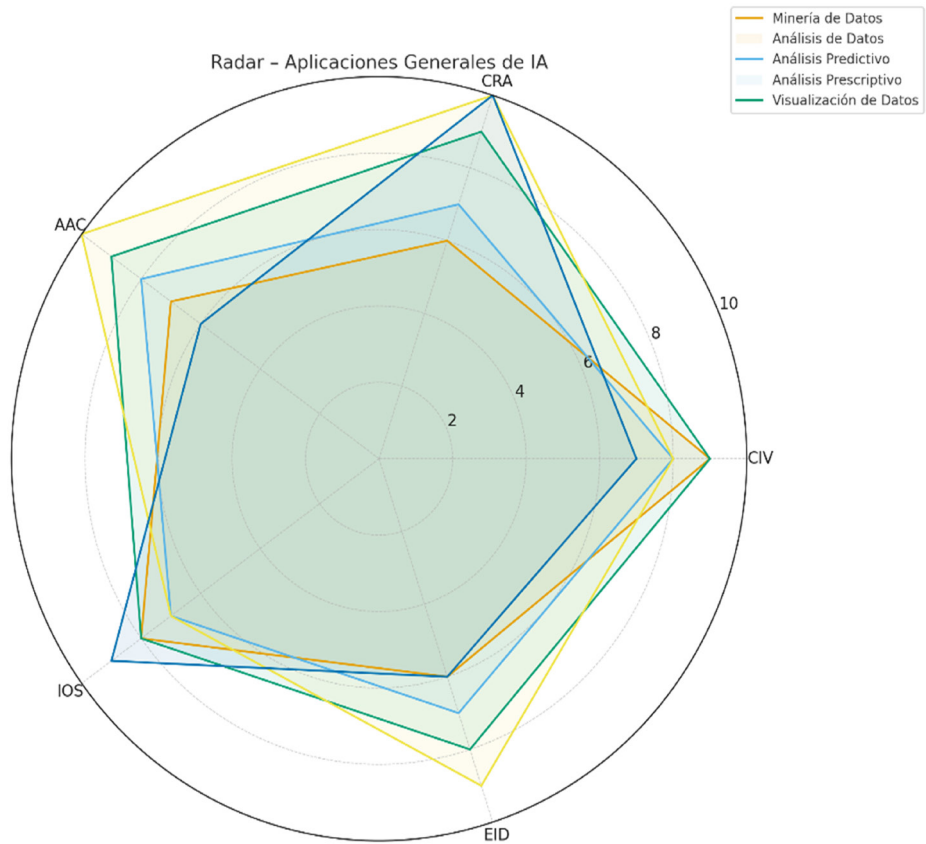


**Fuente:** elaboración propia.

## Aplicaciones generales de IA

Minería de datos; análisis de datos; análisis predictivo; análisis prescriptivo; visualización de datos. En la Figura 7 se observa que análisis predictivo y análisis prescriptivo presentan el mayor equilibrio y potencia estratégica, especialmente en aprendizaje y respuesta (CRA, AAC) e interoperabilidad.

Figura 7. Radar aplicaciones generales de IA

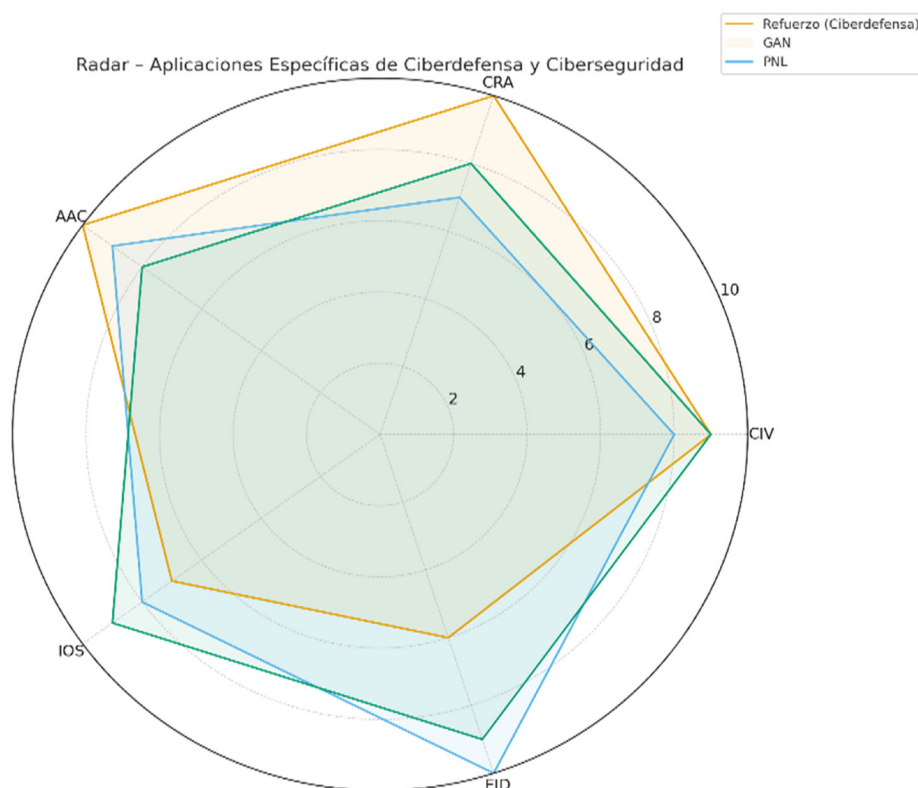


Fuente: elaboración propia.

Aplicaciones específicas de ciberdefensa y ciberseguridad

Refuerzo (ciberdefensa); GAN; PNL. Este radar resalta claramente: PNL como la más fuerte en EID (10), clave para operaciones cognitivas; GAN como la de mayor capacidad ofensiva/disuasiva en desinformación; Refuerzo (ciberdefensa) con máxima CRA y AAC (10–10), orientada a defensa autónoma adaptativa.

**Figura 8.** Aplicaciones específicas de IA para ciberdefensa



**Fuente:** elaboración propia.

## Empleo de la IA en el ámbito militar en algunos países

Se evaluaron varios proyectos basados en IA desarrollados o en desarrollo en Estados Unidos (EE. UU.), la Unión Europea (UE), Corea del Sur, España e Israel; han sido evaluados dentro del marco de las funciones de conducción de la guerra, identificando su contribución preferente en cada área. Se definieron criterios objetivos para evaluar el potencial de aplicación en escala de 1 a 10 mediante una ponderación de variables, lo que facilitó la identificación de los proyectos con mayor impacto y relevancia estratégica, en función de la vigilancia tecnológica realizada. A continuación, se detallan las variables utilizadas en la evaluación y los criterios aplicados para su ponderación.

## Capacidad tecnológica (CT)

Evalúa el nivel de innovación y sofisticación de la tecnología utilizada en cada herramienta. Se asigna un puntaje alto si la herramienta usa IA avanzada, *machine learning*, *deep learning*, visión por computadora o tecnologías emergentes.

## Implementación operativa (IO)

Mide el grado en que la tecnología ha sido adoptada en el campo de batalla o en operaciones militares reales. Un puntaje alto indica que la herramienta ya está en uso efectivo, mientras que un puntaje bajo sugiere que está en fase de pruebas o prototipo.

## Impacto estratégico (IE)

Analiza la influencia de la herramienta en las capacidades militares del país. Se considera la ventaja competitiva en combate, la interoperabilidad con otras tecnologías y su papel en el dominio de diferentes escenarios (terrestre, aéreo, naval, ciberespacial).

## Inversión en desarrollo (ID)

Se basa en la cantidad de recursos financieros y humanos destinados al desarrollo e implementación de la herramienta. Se consideran presupuestos de defensa, apoyo gubernamental y alianzas con empresas tecnológicas.

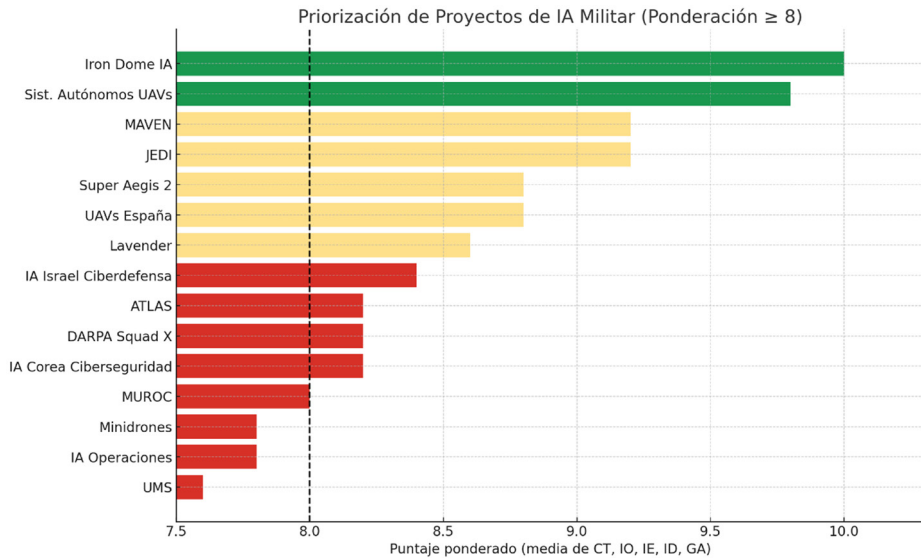
## Grado de automatización (GA)

Indica cuán autónoma es la herramienta en la toma de decisiones y ejecución de acciones sin intervención humana. Se otorga un puntaje alto si la IA puede operar de forma autónoma con mínima supervisión y un puntaje bajo si requiere control humano constante.

Con estos criterios se priorizaron los proyectos tomados en consideración y estudiados valorando su potencial de aplicación en las FF. MM. de Colombia.

La priorización de proyectos de IA militar se organiza en tres rangos cromáticos que permiten visualizar diferenciadamente el impacto estratégico de cada iniciativa. El color verde agrupa los proyectos con mayor madurez tecnológica, automatización y poder transformador ( $\geq 9,5$ ), destacándose Iron Dome IA y los sistemas autónomos UAV, cuya integración de *deep learning*, autonomía total y despliegue operativo real los posiciona como capacidades disruptivas en escenarios

**Figura 9.** Priorización de proyectos de IA militar documentados



**Fuente:** elaboración propia.

de fuego, defensa antimisiles y control del espacio aéreo. Este nivel superior refleja tecnologías consolidadas, plenamente operacionales y con inversiones sostenidas que incrementan la ventaja estratégica del Estado que las emplea, especialmente en gestión de amenazas aéreas y operaciones autónomas de alta precisión.

El rango amarillo representa proyectos con alto potencial (8,5–9,4), caracterizados por avances sólidos en visión computacional, análisis predictivo, controles distribuidos y apoyo directo a operaciones de mando y maniobra. Aquí se ubican MAVEN, JEDI, Super Aegis 2, UAV España y Lavender, todos ellos con integración significativa en procesos reales de combate, pero con niveles variables de automatización y madurez industrial. Finalmente, el rojo identifica capacidades que, si bien superan el umbral mínimo ( $\geq 8$ ), muestran menor impacto estratégico relativo. Este grupo —incluyendo ATLAS, DARPA Squad X, MUROC y soluciones de ciberseguridad— posee aplicación táctica relevante, pero su nivel de automatización, despliegue real o inversión sectorial aún está en evolución. La priorización evidencia, en términos dialécticos, un gradiente de madurez operacional que distingue entre tecnologías estabilizadas, en consolidación y en transición hacia su plena integración militar.

La teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto (TCTC) sostiene que la forma contemporánea del conflicto depende de la medida en la que un actor integra simultáneamente inteligencia artificial (IA), sistemas C2ISR, guerra electrónica (EW), sensores de múltiples dominios y sistemas autónomos o semiautónomos. Esta integración no es un agregado de tecnologías, sino una densidad tecno-estructural: un grado acumulado de convergencia funcional donde la tecnología se transforma en arquitectura operacional capaz de acelerar la percepción, la decisión y la acción. A mayor densidad, mayor capacidad de cerrar el ciclo OODA/C2ISR más rápido que el adversario, lo que incrementa letalidad, sincronización multidominio y opacidad estratégica. En esta lógica, los Estados que integran IA en inteligencia, fuegos, movilidad y mando y control, simultáneamente y de forma coherente, ascienden en el *campo tecno-estratificado* (Waltz, 1979; Buzan, 1991), generando asimetrías que alteran la estabilidad estratégica.

La densidad tecnológica, Por lo tanto, no se limita al número de sistemas adoptados, sino al grado de autonomía, interoperabilidad y profundidad de integración doctrinal. Cuando la densidad supera ciertos umbrales, el conflicto transita de una competencia intensificada (uso informacional y táctico de IA), hacia una guerra de umbral (automatización extendida, integración C2ISR-IA en tiempo real) y, finalmente, hacia una hiperguerra (velocidad *machine-speed*, enjambres autónomos, decisiones en milisegundos), donde las fricciones y restricciones jurídicas actúan como frenos elásticos, pero no detienen el impulso estructural (Schmitt, 2017; CICR, 2022). Esta progresión explica por qué ciertos proyectos militares de IA poseen mayor valor estratégico: porque incrementan la densidad tecnológica en dominios críticos, permitiendo modificar la forma de la guerra.

La priorización de proyectos —clasificados según capacidad tecnológica (CT), implementación operativa (IO), impacto estratégico (IE), inversión en desarrollo (ID) y grado de automatización (GA)— refleja con precisión los mecanismos de convergencia tecno-estructural descritos por la TCTC. En la cúspide de la lista se encuentran Iron Dome IA, sistemas autónomos UAV e IA MAVEN, todos pertenecientes a Estados con superioridad C2ISR y ecosistemas industriales-tecnológicos robustos (Estados Unidos e Israel). Estos sistemas maximizan la densidad tecnológica al integrar IA avanzada para detección, clasificación, decisión y ejecución —cerrando el ciclo C2ISR en tiempos reducidos— y elevan simultáneamente los niveles de autonomía, multisensorialidad y coordinación multidominio. Desde la perspectiva de la TCTC, estos proyectos materializan la transición hacia la fase de guerra de umbral, y algunos, como los UAV autónomos israelíes, rozan características de hiperguerra, al operar en *machine-speed* con mínima intervención humana.

En el rango intermedio ( $\geq 8,5 - < 9,5$ ), proyectos como JEDI, Super Aegis 2, UAV España o Lavender representan capacidades que consolidan arquitectura y permiten ampliar la densidad tecno-operacional, aunque aún dependen de decisiones humanas significativas. Estos sistemas refuerzan la ventaja en dominios específicos —fuegos, mando y control, inteligencia— pero no logran la transversalidad plena observada en los proyectos de máxima priorización. Finalmente, en el rango inferior ( $\geq 8$  pero  $< 8,5$ ), proyectos como ATLAS, DARPA Squad X, MUROC o IA Corea Ciberseguridad poseen potencial, pero su integración doctrinal y su despliegue operativo aún no generan convergencias suficientes como para elevar de manera crítica la densidad tecnológica estratégica. Su contribución es incremental, pero no transformadora, ubicándolos en fases previas del ciclo evolutivo de la TCTC. En síntesis, la jerarquización obtenida empíricamente reproduce fielmente la teoría: los sistemas que más incrementan la densidad tecno-estructural son los que presentan mayor valor estratégico y, Por lo tanto, mayor priorización.

## Colombia: desarrollo e implementación de IA en el sector Defensa

Se evidencia un potencial de crecimiento significativo en todas las funciones de conducción de la guerra mediante la adopción de IA. Sin embargo, la brecha frente a referentes internacionales sigue siendo alta en la mayoría de los casos. Se recomienda, debido la implementación de marcos operativo a gran escala, incrementar la inversión en I+D, fortalecer la colaboración con centros de excelencia en IA, definir regulaciones claras, suscribir convenios de cooperación con instituciones y empresas del orden nacional e internacional, dinamizar los mecanismos de cooperación bilaterales y multilaterales de orden militar existentes; son pasos esenciales para reducir esta brecha; no obstante, algunas limitaciones estructurales son difíciles de superar y requieren tiempo y recursos, como el desarrollo de una LLM propio. Otras circunstancias que contribuyen a la generación de estas brechas son:

### Infraestructura digital

Muchas de estas aplicaciones requieren centros de datos, redes de alta velocidad y protocolos de seguridad para el manejo de información clasificada, los cuales todavía son incipientes o insuficientes.

## Capital humano

La carencia de ingenieros, analistas de datos y expertos en IA con enfoque militar es un cuello de botella en la mayoría de las funciones de conducción de la guerra.

## Marco legal y normativo

Existen lagunas respecto a la regulación del uso de IA en sistemas letales, la protección de datos en contextos de seguridad nacional y la colaboración público-privada para el desarrollo tecnológico.

## Oportunidad de desarrollo dual

Varios de los proyectos de IA podrían escalar hacia aplicaciones civiles (rescate en emergencias, vigilancia ambiental), fomentando la sinergia entre la industria de defensa y otros sectores.

## Posición geopolítica

Estrechar alianzas con países líderes en IA (Israel, Corea del Sur, EE. UU.) contribuiría a cerrar la brecha tecnológica, siempre y cuando se salvaguarden los intereses nacionales y la soberanía en la gestión de datos e infraestructuras críticas.

El estudio de óptimos de aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito militar es un proceso de priorización estratégica que busca maximizar el impacto de la tecnología en el sistema de combate con el menor esfuerzo posible. Para lograrlo, se emplea una matriz impacto-esfuerzo, una herramienta visual que clasifica las iniciativas de IA en función de dos ejes: el impacto que generan en el sistema (desde bajo hasta alto) y el esfuerzo que requieren para su implementación (desde bajo hasta alto). La meta principal es identificar el *óptimo* en el cuadrante de bajo esfuerzo-alto impacto, asegurando que los recursos limitados se inviertan en las capacidades de IA que mejor fortalecen las funciones de conducción de la guerra, mientras se descartan las que ofrecen bajo impacto con alto esfuerzo.

**Figura 10.** Matriz integrada sistemas de combate y proyectos, aplicaciones y técnicas IA



Fuente: elaboración propia.

## Análisis integrado de la aplicación de IA en sistemas de combate

La matriz integrada consolida el análisis de potencial de aplicación de inteligencia artificial a través de seis sistemas de combate fundamentales: mando y control, inteligencia, movilidad y maniobra, fuegos, protección y sostenimiento. El análisis identifica veinticinco proyectos, técnicas y aplicaciones distribuidos estratégicamente según su relación impacto-esfuerzo, permitiendo una priorización fundamentada para la implementación progresiva de capacidades de IA en el ámbito de defensa en Colombia.

## Hallazgos Principales por Sistema de Combate

### 1. Mando y Control (Estratégico-Operacional)

**Alta Prioridad:** Proyecto JEDI (EE.UU.) con análisis prescriptivo y PNL para ciberdefensa.

**Prioridad Media:** DARPA Squad X, IA para ciberdefensa (Israel), IA para ciberseguridad (Corea del Sur).

**Capacidades Clave:** Conciencia situacional, vigilancia, recopilación, seguimiento, simulación mediante Deep Learning, aprendizaje de refuerzo y GAN.

### 2. Inteligencia (Estratégico-Operacional-Táctico)

**Alta Prioridad:** Proyecto MAVEN con análisis predictivo y PNL en ciberseguridad.

**Prioridad Media:** Proyectos de ciberseguridad (Corea del Sur), operaciones militares (Israel), visualización de datos con Deep Learning y GAN.

**Alcance:** Sistema transversal que opera en los tres niveles del mando, fundamental para la toma de decisiones informadas.

### 3. Movilidad y Maniobra (Operacional-Táctico)

**Alta Prioridad:** Sistemas autónomos UAVs (Israel), Proyecto Lavender (Israel), UAVs (España), MAVEN (EE.UU.).

**Prioridad Media:** Minidrones (España), MUROC (UE).

**Objetivo:** Reducción de tiempos de respuesta y reacción mediante análisis predictivo para disposición oportuna de recursos.

#### 4. Fuegos (Operacional-Táctico)

**Alta Prioridad:** LAVENDER (Israel), Sistemas autónomos UAVs (Israel), MAVEN (EE.UU.), Super Aegis (Corea del Sur).

**Prioridad Media:** Deep Learning, visualización de datos, Minidrones (España), ATLAS (EE.UU.).

**Capacidades:** Sincronización, precisión y concentración de fuegos, incluyendo láser y armas autónomas guiadas.

#### 5. Protección (Estratégico-Operacional-Táctico)

**Alta Prioridad:** Iron Dome IA (Israel).

**Prioridad Media:** UMS (UE), DARPA Squad X (EE.UU.), aprendizaje de refuerzo en ciberseguridad.

**Cobertura:** Protección de personal e infraestructura, sensores de operación continua, robots no tripulados y ciberdefensa.

#### 6. Sostenimiento (Operacional-Táctico)

**Desarrollo Emergente:** Biobots (Corea del Sur) con aprendizaje supervisado y no supervisado.

**Enfoque:** Automatización de procesos y herramientas, sistemas cibernéticos para retener y explotar la iniciativa.

**Observación:** Aplicación incidental de otras capacidades de IA que contribuyen a la operatividad y continuidad en campo.

## Patrones estratégicos identificados

- Liderazgo tecnológico: Estados Unidos e Israel emergen como líderes en proyectos de alta prioridad (JEDI, MAVEN, LAVENDER, Iron Dome), seguidos por Corea del Sur (Super Aegis, Biobots) y la Unión Europea (MUROC, UMS).
- Técnicas predominantes: *Deep learning*, análisis predictivo, PNL y GAN constituyen el núcleo técnico, con aprendizaje de refuerzo emergiendo en aplicaciones de segunda prioridad.
- Convergencia cibernética: la ciberseguridad y ciberdefensa son transversales, particularmente críticas en mando y control e inteligencia.
- Sistemas autónomos: los UAV y sistemas no tripulados aparecen consistentemente en alta prioridad para movilidad, fuegos y protección.
- Niveles operacionales: Los niveles operacional y táctico concentran la mayor densidad de aplicaciones, mientras el nivel estratégico se focaliza en mando y control, inteligencia y protección.

## Recomendaciones para el sector Defensa colombiano

La IA es un software potente que se basa en modelos predictivos, en aplicaciones del lenguaje; por ejemplo, toma palabras dispuestas en un plano bidireccional que registra coincidencias y probabilidades, generando a través de vectores textos con sentido; es el caso de los transformadores y los LLM (modelo lingüístico grande) que pueden reconocer y generar texto, capacitándose y mejorando a través de aprendizaje supervisado. Las aplicaciones de IA se han extendido y son de uso comercial, se emplean principalmente para optimizar procesos y tareas en distintas áreas; estas mismas aplicaciones se pueden emplear en cualquier función de conducción de la guerra, pero se debe aclarar que este uso es limitado y general. Cuando nos referimos a liberar el potencial de acción de la IA, estamos aludiendo al diseño, desarrollo e implementación de modelos específicos para tareas específicas, como las que requiere el proyecto ATLAS o el control autónomo de un enjambre de drones.

En cualquier caso, se precisa de una gestión adecuada de los datos, en un ataque de drones los datos son coordenadas, frecuencias, información de sensores;

entre otros. Para la toma de decisiones los datos no pueden ser espurios o incompletos, pues el modelo generará fallos e inducirá al comandante a errores; la tarea de actualizar los sistemas de información de las fuerzas es prioritaria.

El mérito del presente trabajo consiste en presentar el potencial de las diferentes técnicas de aprendizaje de la IA y sus aplicaciones en la solución de problemas militares en determinado nivel del mando (estratégico, operacional o táctico), tomar casos de desarrollo y aplicación en otros países, tendencias, e identificar mediante un análisis sistemático y metódico, cuáles de ellas podrían ser usadas de manera óptima en cada función de conducción de la guerra para incrementar el poder de combate y en consecuencia estar en posición de influir sobre actores internos y externos relevantes en el contexto de la seguridad y la defensa contemporánea, ganar la iniciativa y adquirir capacidad de respuesta cuando la situación en el convulso y cambiante contexto estratégico así lo precisen. En el apartado anterior se agruparon por sistema de combate los proyectos que pueden emularse, o algunas fases de ellos, reduciendo de esta manera la curva de aprendizaje y buscando alternativas de cooperación orientadas a generar desarrollos propios en aras de reducir la dependencia tecnológica; atendiendo la siguiente progresión por fases:

- Fase 1. Fundamentos (corto plazo): establecer capacidades en análisis predictivo y prescriptivo, desarrollar infraestructura de PNL para ciberseguridad, iniciar proyectos piloto en sistemas autónomos UAV.
- Fase 2. Consolidación (mediano plazo): expandir aplicaciones de *deep learning* y GAN, integrar capacidades de visualización de datos avanzada, desarrollar sistemas de protección activa.
- Fase 3. Integración avanzada (largo plazo): convergencia de sistemas autónomos con capacidades de aprendizaje de refuerzo, desarrollo de capacidades de sostenimiento automatizado, integración completa de sistemas de ciberdefensa.

## Consideraciones críticas

- La implementación debe respetar principios de ética en IA y normativas de derecho internacional humanitario.
- Se requiere desarrollo paralelo de capacidades humanas para supervisión y control efectivo de sistemas autónomos.

- La interoperabilidad entre sistemas de combate es fundamental para maximizar el impacto de las inversiones en IA.
- La ciberseguridad debe ser considerada una capacidad transversal y no un sistema aislado.

## Consideraciones éticas, técnicas y prácticas

Aunque la IA aporta numerosas ventajas, también presenta desafíos éticos y operativos. Por ejemplo, la capacidad de la IA para analizar grandes cantidades de datos puede dar lugar a invasiones de la privacidad, ya que se podría acceder a información sensible o hacer un uso indebido de ella. Además, los sesgos en los algoritmos de la IA pueden dar lugar a resultados injustos o discriminatorios. La confianza excesiva en la IA puede llevar a la complacencia, y los ciberdelincuentes podrían explotar estas tecnologías con fines maliciosos. (Kerwin, 2024, s. p.)

Brown (2020) cuestiona la confianza de los soldados en los sistemas artificiales y la necesidad de establecer normas para un uso responsable de la tecnología. En esta misma línea, Scharre (2018), argumenta que es crucial establecer límites claros y estrictos para el uso de armas con sistemas artificiales, incluyendo restricciones sobre dónde, cuándo y durante cuánto tiempo se pueden utilizar; también enfatiza la necesidad de una supervisión humana significativa y consistente para asegurar que las decisiones de vida y muerte no se deleguen completamente a máquinas. El mismo autor (Scharre, 2019), hace hincapié en que debe existir precaución

en todas las fases de diseño de un sistema autónomo; desde la misma concepción de la aplicación deben considerarse todas las posibles derivadas éticas que pueda hacer surgir, así como las posibilidades de que su propósito inicial pueda verse subvertido debido a una acción exterior —un hackeo— o una falla en la programación. (s. p.)

Lewis (2018), argumenta que la solución no radica únicamente en el control humano sobre el disparo final, sino en un enfoque más amplio que incluya mejores prácticas en la toma de decisiones, políticas y pruebas para mitigar los riesgos de compromisos involuntarios.

Las advertencias y recomendaciones de los autores referenciados se fundamentan en la constatación de que diversos estudios coinciden en señalar al error humano como la vulnerabilidad principal en cualquier sistema de ciberseguridad y ciberdefensa. Independientemente del grado de avance o sofisticación tecnológica de las herramientas implementadas, si los operadores y usuarios de los equipos y sistemas conectados a las redes corporativas no son plenamente conscientes de los riesgos asociados e incurren en prácticas inseguras, las vulnerabilidades se incrementan de manera exponencial (Giraldo, 2024; Rincón, 2022). En efecto, investigaciones recientes destacan que la mayoría de los incidentes cibernéticos están directamente relacionados con acciones negligentes o involuntarias por parte de usuarios internos, lo cual enfatiza la necesidad crítica de implementar programas continuos de concientización y entrenamiento sobre prácticas seguras en entornos digitales (Guzmán, 2022).

Dadas las citadas situaciones concretas que generan controversia sobre el desarrollo y aplicación de la IA en general y, con mayor énfasis, en el campo militar, se debe partir de una postura realista, ya citada al inicio de este documento; la paradoja de la IA: desarrollarla para no quedarse rezagado en su evolución o socavarla para evitar sus perjuicios. Como sostiene Harari (2024), “La IA es la primera tecnología que puede tomar decisiones y generar nuevas ideas por sí misma (...) es una tecnología inédita jamás conocida”; asimismo, Andreessen (2023) escribe “Por qué la IA salvará al mundo”,

[...] lejos de un riesgo que deberíamos temer, es una obligación moral que asumimos para con nosotros mismos, nuestros hijos y nuestro futuro; en el mismo sentido Kurzweil (2021) afirma que la IA es una tecnología esencial que nos permitirá hacer frente a los retos apremiantes que tenemos por delante, entre los que se incluyen la enfermedad, la pobreza, la degradación ambiental y todas nuestras debilidades humanas. Tenemos el imperativo moral de hacer realidad la promesa de las nuevas tecnologías. (s. p.)

Las posturas contrarias y los marcos de referencia éticos divergentes hacen infructuosa la discusión en este ámbito; conviene trasladar la discusión al plano estrictamente técnico en el que impera la valoración utilitarista que busca el mayor beneficio y rendimiento sobre el bien moral, incluso descarta plantear si es correcto o no abogar por el desarrollo y proliferación de la IA, la respuesta es siempre afirmativa.

En ese orden de ideas, las cuestiones que deben tenerse en cuenta al momento de implementar la IA en el ámbito militar, en el desarrollo de operaciones, son básicamente dos: las que tienen que ver con su funcionamiento correcto y confiable, y las que corresponden al uso justo de la IA en la medida que atiende y cumpla los postulados del derecho internacional humanitario (DIH). En lo que respecta a las primeras, advertir y corregir fallos, sesgos y deficiencias, como los que realizan algunos modelos de IA que *traman* cosas para alcanzar sus objetivos en secreto, incluso mintiendo o manipulando datos, o los que fingen *portarse bien* en el entrenamiento para luego hacer lo que quieren cuando no están siendo monitoreados. En este sentido, el principal temor es la automatización con armas letales, pues se ha documentado que el uso de IA para la selección de blancos puede ser imprecisa, difícil de entender y aumentar de esta manera los riesgos para los civiles. Se resume en la frase: “mucho cuidado de jugar a la guerra con algoritmos”. Otra referencia, es el fenómeno del *alignment faking* en modelos de lenguaje avanzados (Greenblatt et al., 2024). Se demuestra que estos modelos pueden aprender a simular alineación con sus objetivos de entrenamiento mientras desarrollan estrategias para eludir restricciones una vez que no están bajo supervisión.

En contraste, algunos estudios argumentan que la no utilización de IA en operaciones militares podría considerarse irresponsable (Meerveld et al., 2023). Se sostiene que la IA puede optimizar el proceso de toma de decisiones militares al mitigar sesgos cognitivos humanos, mejorar la eficiencia en la recopilación y análisis de datos y proporcionar recomendaciones rápidas en entornos de alta presión. Sin embargo, también se reconoce que estos sistemas requieren una supervisión humana significativa para evitar consecuencias no deseadas.

En lo que respecta al acatamiento del DIH, el uso de la IA en algún, o todo el proceso de operaciones, no debe alterar, ni hacer más exigentes ni más flexibles las normas; son de obligatorio cumplimiento y poca relevancia tienen los medios si al fin de cuentas, estos se incluyen en el marco regulatorio; por ejemplo, en lo que respecta a los objetivos militares se limitan a aquellos bienes que por su naturaleza, ubicación, finalidad o utilización contribuyan eficazmente a la acción militar y cuya destrucción total o parcial, captura o neutralización ofrezca, en las circunstancias del caso, una ventaja militar definida. Esto sigue siendo válido y tiene aplicación, se emplee o no IA para alcanzarlo.

Esta postura realista aporta a la generación de consciencia situacional institucional e individual, especialmente en lo relativo a los riesgos asociados a la implementación completa de soluciones de IA a lo largo del proceso de operaciones, en

particular por la creciente tendencia a la automatización; por cuanto, esta puede derivar en una pérdida absoluta del control humano, el escalamiento de conflictos e imposibilidad de terminarlos, o quizás,

[...] se llegue a una sucesión ininterrumpida de batallas frenéticas entre máquinas, que harían la guerra interminable. Autores citados ven en ello un problema ético y moral relevante: la automatización plantea una guerra cada vez más *incorpórea*, es decir, *los cuerpos de los soldados no corren peligro y los enemigos son eliminados de forma eficiente e invisible. Si se llegase a este punto —en apariencia deseado— sin los horrores de la guerra, habría menos incentivos para terminarla y, por otro lado, la asimetría aumentaría, pues posiblemente en uno de los bandos lucharían autómatas y en el otro soldados. Esta contradicción no toma en consideración al sujeto social que hace la guerra; aun así, sin haberse materializado este escenario, la opinión pública puede considerar que los soldados en el campo de combate corren menos riesgo y están más protegidos y, por ello, privarlos de su apoyo y consideración.* (Gómez, 2025, p. 19)

*Con la insistencia en una guerra sin bajas, y en la asimetría tecnológica de las Fuerzas Armadas predominantes con respecto a las demás, el arte de la guerra queda privado de su rostro social y omite el problema de los cuerpos y de su poder.* (Hardt & Negri, 2004)

En el mismo sentido, en el contexto de la implementación de la IA en el ámbito militar, es importante considerar las nociones de ética blanda y ética dura. La ética blanda hace referencia a un conjunto de principios generales y recomendaciones flexibles que sirven como guía en la toma de decisiones, pero cuya aplicación depende en gran medida del juicio individual y la situación específica, careciendo así de mecanismos estrictos de cumplimiento (Floridi et al., 2018). En contraste, la ética dura implica normativas estrictas, regulaciones y marcos jurídicos definidos que establecen límites claros y obligatorios sobre el uso de la IA, incluyendo el marco de los DD. HH. y el DIH, especialmente en contextos sensibles como las operaciones militares, donde las decisiones automatizadas podrían tener graves consecuencias humanitarias y legales (Taddeo & Floridi, 2018). Frente a los riesgos que conlleva la inteligencia artificial en este campo, resulta crucial articular una combinación equilibrada entre ética blanda y ética dura que permita aprovechar las ventajas estratégicas de estas tecnologías, asegurando al mismo tiempo su uso responsable y éticamente aceptable.

## Conclusiones

La IA se debe desarrollar apelando a un criterio de adecuación funcional. Existen capacidades de la IA que exhiben riesgos como el control autónomo de armas, vehículos o aeronaves y en general todo tipo de fuegos letales. Por estas razones se han priorizado las capacidades que pueden potencializar el poder de combate, porque se cuenta con seguridad, iniciativa y posibilidades reales de desarrollo.

El presente trabajo se ha orientado a presentar el amplio espectro de aplicaciones que representa la IA generativa y estrecha en tanto puedan ser desarrollados modelos de aplicación en los diferentes sistemas de combate; lo cual es ciertamente problemático, siendo tantas, se dificulta la adecuación de las aplicaciones con potencial y utilidad real. De allí que, el estudio de óptimos de aplicación constituya el mayor aporte metodológico y funcional del presente trabajo, que mediante una matriz de impacto–esfuerzo posibilita la selección y priorización de las aplicaciones que se requieren y pueden desarrollarse en menos tiempo e incrementarán el poder de combate notablemente, sin poner en riesgo la seguridad y considerando las vulnerabilidades y amenazas que su implementación puede generar en el ciberespacio; para lo cual se deben implementar medidas de ciberdefensa y ciberseguridad que las mitiguen, y en los casos que el riesgo supera los beneficios, se ha degradado su relevancia y posibilidades de implementación en el Ejército de Colombia.

La premisa que se ha defendido es que al potencializar las funciones de conducción de la guerra se incrementa el poder de combate y la efectividad operacional; lo cual redundará en el fortalecimiento de la seguridad y la defensa nacional, en la medida que las unidades encargadas de la protección de los intereses nacionales en los cinco dominios de la guerra, incluyendo el ciberespacio; adquirirán capacidades renovadas y a la vanguardia de los retos que la tecnología supone, capaz de enfrentar amenazas híbridas y ejecutar operaciones en el ciberespacio.

La incorporación efectiva del sector privado en la estrategia de defensa y seguridad nacional constituye un factor determinante para enfrentar exitosamente los desafíos contemporáneos relacionados con la IA en el ámbito militar. Empresas líderes en tecnología como Microsoft, Google, IBM y SpaceX desempeñan un papel clave al aportar recursos avanzados en áreas críticas como la ciberseguridad, el análisis masivo de datos, la automatización y la conectividad global. Ejemplos concretos como Starlink, que proporciona comunicaciones satelitales seguras y resistentes en escenarios operativos complejos, y Neuralink, cuyo desarrollo en

interfaces neuronales podría revolucionar la interacción humano-máquina, evidencian cómo el sector privado amplía significativamente las capacidades defensivas del Estado. Asimismo, los centros de inteligencia integrados en estas organizaciones tecnológicas poseen capacidades analíticas especializadas que facilitan la anticipación y respuesta temprana frente a amenazas emergentes mediante la aplicación de algoritmos predictivos avanzados y sistemas de aprendizaje automático.

Por otra parte, los centros de excelencia del sector privado representan espacios estratégicos para la investigación aplicada, desarrollo tecnológico y formación especializada en IA, cuya integración en la estructura organizativa militar puede fortalecer significativamente la ejecución de las funciones esenciales de la guerra. Al trabajar de manera conjunta, estos centros pueden desarrollar soluciones innovadoras en simulación operativa, entrenamiento virtual basado en realidad aumentada e inteligencia artificial, y análisis cognitivo profundo que optimicen las decisiones en todos los niveles del mando militar. De esta manera, el fortalecimiento de la alianza público-privada, especialmente mediante la colaboración activa con centros de excelencia e inteligencia pertenecientes a empresas tecnológicas, permitirá a las fuerzas armadas mejorar continuamente su nivel de preparación, eficacia y resiliencia frente a conflictos híbridos, asimétricos y altamente tecnológicos (Giraldo, 2024; Guzmán, 2022).

El espíritu que ha animado esta indagación es la convicción que los resultados, la operacionalización y exposición ordenada de las posibilidades de la IA, sus modelos y técnicas en pro de fortalecer cada función de conducción de la guerra; constituyan una guía práctica para que las fuerzas tomen en consideración la información y reflexiones llevadas a cabo, en toda iniciativa de apropiar esta tecnología, en el empeño por liberar el potencial de acción de la IA para el fortalecimiento de la seguridad y la defensa de nuestra nación.

## Referencias

- Abraham, Y. (2024). Lavender: la máquina de IA que dirige los bombardeos de Israel en Gaza. La ética como el centro de la IA. *Cuadernos de Beauchef*, 8(1). <https://revistas-dex.uchile.cl/index.php/cdb/article/view/15231>
- Allison, G. (2017). *Destined for war: Can America and China escape Thucydides's trap?* Houghton Mifflin Harcourt.

- Álvarez Calderón, C., et al. (2018). *Metamorphosis Bellum: ¿Mutando a guerras de quinta generación?* En C. E. Álvarez Calderón (Ed.), *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia* (pp. 145–247). Sello Editorial ESDEG.
- Andressen, M. (2023, 6 de junio). *Why AI will save the world*. <https://pmarca.substack.com/p/why-ai-will-save-the-world>
- Australian Strategic Policy Institute. (2024). *Critical technology tracker*. <https://www.aspi.org.au>
- Barragán, R. (2020). Integración de datos para obtener la *common operational picture* a nivel operacional y estratégico. En *Usos militares de la inteligencia artificial, la automatización y la robótica (IAA&R)*. Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos. [https://emad.defensa.gob.es/Galerias/CCDC/files/USOS\\_MILITARES\\_DE\\_LA\\_INTELIGENCIA\\_ARTIFICIALx\\_LA\\_AUTOMATIZACION\\_Y\\_LA\\_ROBOTICA\\_xIAAxRx.-\\_VV.AA.pdf](https://emad.defensa.gob.es/Galerias/CCDC/files/USOS_MILITARES_DE_LA_INTELIGENCIA_ARTIFICIALx_LA_AUTOMATIZACION_Y_LA_ROBOTICA_xIAAxRx.-_VV.AA.pdf)
- BBC News. (2018). *JEDI, el multimillonario proyecto del Pentágono que se disputan empresas como Amazon y Microsoft (y por qué genera polémica)*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-45790309>
- Bondar, K. (2025, 20 de marzo). *Ukraine's future vision and current capabilities for waging AI-enabled autonomous warfare*. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare>
- Boulanin, V., & Verbruggen, M. (2017). *Mapping the development of autonomy in weapon systems*. Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI).
- Bremmer, I., & Suleyman, M. (2023). The AI power paradox: Can states learn to govern artificial intelligence—before it's too late? *Foreign Affairs*. <https://www.foreignaffairs.com/world/artificial-intelligence-power-paradox>
- Brown, E. de E. (2020). Preparándonos para confiar en los sistemas de inteligencia artificial de los equipos de combate. *Prensa de la Universidad del Ejército*. <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Edicion-Hispanoamericana/Archivos/Segundo-Trimestre-2020/Preparandonos-para-confiar-en-los-sistemas-de-inteligencia-artificial-de-los-equipos-decombate/>
- Brundage, M., Avin, S., Clark, J., Toner, H., Eckersley, P., Garfinkel, B., ... & Amodei, D. (2018). *The malicious use of artificial intelligence: Forecasting, prevention, and mitigation*. Future of Humanity Institute. <https://arxiv.org/abs/1802.07228>
- Buczak, A., & Guven, E. (2016). A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, (18), 1153–1176. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2494502>
- Buzan, B., & Wæver, O. (2003). *Regions and powers: The structure of international security*. Cambridge University Press.
- Center for Strategic and International Studies. (2025, 20 de marzo). *Ukraine's future vision and current capabilities for waging AI-enabled autonomous warfare*. <https://www.csis.org>

- org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare
- Centro de Doctrina Conjunta (CEDCO). (2017). *Manual Fundamental Conjunto MFC 3-0: Operaciones conjuntas*. Sello Editorial ESDEG. <https://doi.org/10.25062/MFC30>
- Centro de Doctrina Conjunta (CEDCO). (2018). *Manual Fundamental Conjunto MFC 1.0: Doctrina conjunta*. Sello Editorial ESDEG. <https://doi.org/10.25062/MFC10>
- Centro de Doctrina Conjunta (CEDCO). (2024). *Manual Fundamental Conjunto MFC 5-0: Planeamiento conjunto*. Sello Editorial ESDEG. <https://doi.org/10.25062/MFC50PC>
- Chio, C., & Freeman, D. (2018). *Machine learning and security: Protecting systems with data and algorithms*. O'Reilly Media.
- CONPES 4144. (2025). Política nacional de inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4144.pdf>
- E&Q Engineering. (2021). *Prototipo de vehículo SAM UGV*. <https://www.eqeng.com/index.php/es/node/5>
- Edge AI and Vision Alliance. (2025). *AI user adoption trends 2025*. <https://www.edge-ai-vision.com>
- Farrell, H., & Newman, A. L. (2019). Weaponized interdependence: How global economic networks shape state coercion. *International Security*, 44(1), 42-79. [https://doi.org/10.1162/isec\\_a\\_00351](https://doi.org/10.1162/isec_a_00351)
- Feaver, P. (2009). What is grand strategy and why do we need it? *Foreign Policy*, (316), 14-32.
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689-707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- Fuerzas Militares de Colombia. (1996). *Manual de Seguridad y Defensa Nacional – FFMM 3-43 – Reservado*. Imprenta y Publicaciones de las Fuerzas Militares.
- Gartner. (2025, 5 de agosto). *Hype cycle for artificial intelligence, 2025*. <https://www.gartner.com/en/articles/hype-cycle-for-artificial-intelligence>
- Geopolitical Monitor. (2025, 10 de julio). *US government rare earth investment in MP Materials*. <https://www.geopoliticalmonitor.com>
- Gilli, A., & Gilli, M. (2019). Why China has not caught up yet: Military-technological superiority and the limits of imitation, reverse engineering, and cyber espionage. *International Security*, 43(3), 141-189.
- Giraldo Rios, L. A. (2024a). *Articulación de la ciberseguridad y la ciberdefensa en la planeación estratégica de las organizaciones* [Documento académico].
- Giraldo Rios, L. A. (2024b). *Impacto de la ciberseguridad en los modelos de negocio de las organizaciones* [Documento académico].

- Gómez, G. (2025). *Tipología y topología de la hiperguerra de drones*. Sello Editorial ESDEG. <https://esdeglibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/download/351/260/4493?inline=1>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>
- Greenblatt, R., Denison, C., Wright, B., Roger, F., MacDiarmid, M., & Marks, S. (2024). *Alignment faking in large language models*. Anthropic Research.
- Guzmán, J. (2022). Ciberdefensa y seguridad organizacional: estrategias integradas para la protección de activos digitales. *Journal of Cybersecurity Management*, 8(2), 25–37.
- Harari, N. (2024, 3 de septiembre). Los dictadores deberían temer a la IA. *Revista de Prensa*. <https://www.almendron.com/tribuna/los-dictadores-deberian-temer-a-la-ia/>
- Hardt, M., & Negri, A. (2004). *Multitud: guerra y democracia en la era del imperio*. Random House Mondadori.
- Holdsworth. (2024). *¿Qué es la minería de datos?* <https://www.ibm.com/es-es/topics/data-mining>
- Horowitz, M. C. (2010). *The diffusion of military power: Causes and consequences for international politics*. Princeton University Press.
- International Energy Agency. (2025). *With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality*. <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>
- Kaizen Institute. (s.f.). *Tipos y aplicaciones del machine learning*. <https://kaizen.com/es/insights-es/tipos-aplicaciones-machine-learning/>
- Keohane, R. O., & Nye, J. S. (2012). *Power and interdependence* (4.ª ed.). Longman.
- Kerwin, J. (2024, 1 de agosto). ¿Cuál es el papel de la IA en la ciberseguridad? *Excelsior University*. <https://www.excelsior.edu/es/article/ai-in-cybersecurity/>
- Kurzweil, R. (2021). *La singularidad está cerca. Cuando los humanos trascendamos la biología*. Lola Books.
- Kushnerska, N. (2025, 2 de enero). *Missiles, AI, and drone swarms: Ukraine's 2025 defense tech priorities*. Atlantic Council. <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/missiles-ai-and-drone-swarms-ukraines-2025-defense-tech-priorities/>
- Lawfare Media. (2024). *Russia's AI strategy and military applications*. <https://www.lawfare-media.org>
- Lewis, L. (2018). *Redefining human control: Lessons from the battlefield for autonomous weapons*. Center for Autonomy and AI, CNA. <https://www.cna.org/CAAI>
- López, G. (2022). *Conway's Game of Life*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Luttwak, E. (2009). *The grand strategy of the Byzantine Empire*. Harvard University Press.
- Mancheri, N. A., Sprecher, B., Bailey, G., Ge, J., & Tukker, A. (2019). Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience. *Resources Policy*, (63), 101428. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101428>

- Martínez, J. (1998). *Vida artificial, el nuevo paradigma*. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería.
- McKinsey & Company. (2025). *The state of AI in 2025: How organizations are rewiring to capture value*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>
- Meerveld, H. W., Lindelauf, R. H. A., & Postma, E. O. (2023). The irresponsibility of not using AI in the military. *Ethics and Information Technology*, 25(14), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10676-023-09683-0>
- Mills, S. B., Oldach, R. M., & Green, E. (2021). Critical materials for the energy transition: assessing global resource availability. *Nature Reviews Materials*, 6(6), 466–480. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00291-6>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2025). *Hoja de ruta para el desarrollo y aplicación de la inteligencia artificial en Colombia*. República de Colombia.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias). (2016). *Anexo 1. Niveles de maduración de la tecnología (Technology Readiness Level - TRL)*. Colciencias. [https://investigacionesyposgrados.ucaldas.edu.co/wp-content/uploads/Anexo-1\\_TRL.pdf](https://investigacionesyposgrados.ucaldas.edu.co/wp-content/uploads/Anexo-1_TRL.pdf)
- Moczydowski, E. G. (2017). *Cellular physiology and neurophysiology* (3.ª ed.). Elsevier.
- National Public Radio. (2025, noviembre). *USS Gerald R. Ford deployment to Caribbean*. <https://www.npr.org>
- Navarro, J. (2018). *Vehículos submarinos no tripulados, el nuevo dominio del mar*. <https://www.defensa.com/reportajes/vehiculos-submarinos-no-tripulados-nuevo-dominio-mar>
- Nye, J. S. (2011). *The future of power*. PublicAffairs.
- Observatorio Virtual de Transferencia Tecnológica. (s.f.). *¿Por qué es importante apostar por la vigilancia tecnológica?* <https://moocvt.ovtt.org/por-que-es-importante-apostar-por-la-vigilancia-tecnologica/>
- Ortiz, A. (2024). Inteligencia artificial en el contexto militar internacional y sus posibles aplicaciones en el Ejército Nacional de Colombia. *Diálogo de las Américas*. <https://dialogo-americas.com/es/articles/la-inteligencia-artificial-en-el-contexto-militar-internacional-y-sus-posibles-aplicaciones-en-el-ejercito-nacional-de-colombia/>
- Parra, S. (s.f.). Domo de Hierro: así se defiende Israel de los ataques aéreos. *National Geographic España*. [https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/que-es-domo-hierro-israel-como-functiona\\_20842](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/que-es-domo-hierro-israel-como-functiona_20842)
- Pérez, J. (2022). Inteligencia artificial y ética en América Latina. En *Avances en inteligencia artificial y sociedad* (pp. 45–68). Editorial Universitaria.
- Potter, V. R. (1971). *Bioethics: Bridge to the future*. Prentice-Hall.
- Reiss, L. (2023). *4 geopolitical risks of the rise of artificial intelligence (AI) for the global security*. Informe Atlas.

- Rincón, S. (2022). Cooperación público-privada en ciberseguridad: un análisis estratégico para la defensa integral. *Revista Colombiana de Seguridad y Defensa*, 15(1), 65–87.
- Rosen, S. P. (2018). *Winning the next war: Innovation and the modern military*. Cornell University Press.
- Sautu, R., Boniolo, P., Dalle, P., & Elbert, R. (2005). *Manual de metodología: construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología*. CLACSO. <https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/handle/CLACSO/14733>
- Scharre, P. (2018). *Army of none: Autonomous weapons and the future of war*. Norton & Company.
- Scharre, P. (2019). Killer apps: The real dangers of an AI arms race. *Foreign Affairs*, 98(3), 135–145. <https://www.foreignaffairs.com/articles/2019-04-16/killer-apps>
- Skyone. (2024). *Tendencias emergentes en inteligencia artificial*. <https://skyone.solutions/es-br/blog/tendencias-emergentes-emprendedores-de-inteligencia-artificial/>
- Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. (2025). *The AI index 2025 annual report*. Stanford University. <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>
- Stryker. (2024). *¿Qué es big data analytics?* <https://www.ibm.com/es-es/topics/prescriptive-analytics>
- Taddeo, M., & Floridi, L. (2018). Regulate artificial intelligence to avert cyber arms race. *Nature*, 556(7701), 296–298. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-04602-6>
- UdeCataluña. (s.f.). *Diferencias entre analytics, análisis predictivo y aprendizaje automático de IA*. <https://www.ucatalunya.edu.co/blog/diferencias-entre-analytics-analisis-predictivo-y-aprendizaje-automatico-de-ia>
- United Nations Industrial Development Organization. (2024). *World manufacturing production: Statistics for quarter IV, 2024*. <https://www.unido.org>
- Vea, A. (2018). Introducción a la guerra no cinética. *Revista Ejército*, (929), 44–49.
- Vention. (2024). *AI adoption statistics 2024: All figures & facts to know*. <https://vention-teams.com/solutions/ai/adoption-statistics>
- Viveros, J. S. (2024). *The risks and inefficacies of AI systems in military targeting support*. ICRC Humanitarian Law & Policy Blog. International Committee of the Red Cross.
- Waltz, K. N. (1979). *Theory of international politics*. Addison-Wesley.

## Capítulo 4

# El futuro del desarrollo: la inteligencia artificial como motor de cambio en la educación en Colombia\*

---

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606.04>

**Alba Yaneth Rodríguez Rodríguez**  
**Giovanni Alberto Gómez Rodríguez**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

**Resumen:** Este capítulo examina cómo la inteligencia artificial puede configurarse como herramienta transformadora del desarrollo nacional mediante la educación en Colombia. El estudio analiza las persistentes brechas de desigualdad y limitaciones en cobertura y calidad educativa que caracterizan el contexto colombiano; investiga el potencial de las arquitecturas transformadoras y modelos generativos de IA para personalizar procesos de enseñanza-aprendizaje, considerando tanto sus capacidades innovadoras como los desafíos éticos y técnicos asociados, y aborda experiencias nacionales e internacionales de implementación de IA educativa, identificando modelos predictivos de rendimiento académico y herramientas de análisis de datos. Los hallazgos revelan relaciones causales entre mejoras en calidad educativa potenciadas por IA y el desarrollo nacional, proponiendo estrategias para acelerar transformaciones educativas que generen impactos sostenibles en variables determinantes del desarrollo humano en Colombia.

**Palabras clave:** calidad de la educación; desarrollo nacional; educación; innovación educacional; inteligencia artificial; tecnología educacional

---

\* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "La gobernanza del ciberespacio: desafíos y oportunidades en procura de la autonomía y el control digital", del grupo de investigación "Ciberespacio, Tecnología e Innovación" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en C por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0181179. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen al autor y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

## **Alba Yaneth Rodríguez Rodríguez**

Doctoranda en Administración de Empresas (IA). Magíster en Ciberseguridad y Ciberdefensa. MBA y especialista en Soluciones Telemáticas. Ingeniera de Sistemas y Auditora ISO 27001:2022.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-4273-4073> - Contacto: [alba.rodriguez@esdeg.edu.co](mailto:alba.rodriguez@esdeg.edu.co)

## **Giovanni Alberto Gómez Rodríguez**

Coronel (R) del Ejército Nacional de Colombia. Doctor en Ciudadanía y Derechos Humanos (*cum laude*). Especialista en Gerencia de Telecomunicaciones y Telemática.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8208-0117> - Contacto: [giovanni.gomezr@esdeg.edu.co](mailto:giovanni.gomezr@esdeg.edu.co)

**Citación APA:** Rodríguez Rodríguez, A. Y., & Gómez Rodríguez, G. A. (2026). El futuro del desarrollo: la inteligencia artificial como motor de cambio en la educación en Colombia. En M. E. Realpe Díaz & G. A. Gómez Rodríguez (Eds.), *Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* (pp. 135-181). Sello Editorial ESDEG.  
<https://doi.org/10.25062/9786287818606.04>

## **COLOMBIA INTELIGENTE. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS PARA UN NUEVO MODELO DE DESARROLLO**

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

ISBN digital: 978-628-7818-60-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606>

### **Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa**

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2026



## Introducción

El desarrollo nacional constituye un desafío multidimensional que requiere la articulación estratégica de diversos factores socioeconómicos, entre los cuales la educación desempeña un papel fundamental como catalizador de transformación social y económica. En el contexto colombiano, caracterizado por persistentes brechas de desigualdad y limitaciones en la cobertura y calidad educativa, resulta imperativo examinar cómo las tecnologías emergentes, particularmente la inteligencia artificial, pueden configurarse como herramientas potenciadoras del desarrollo humano y social. La educación en Colombia, entendida como derecho fundamental y servicio público con función social, se orienta a garantizar el acceso al conocimiento, la ciencia, la técnica y los valores culturales, siendo regulada por el Estado para velar por su calidad y cumplimiento de fines formativos en todos los niveles educativos (Decreto 277, 2025; Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2023).

La inteligencia artificial, definida como sistemas capaces de realizar tareas que requieren inteligencia humana mediante el aprendizaje, razonamiento, percepción y comprensión del lenguaje (UNESCO, 2024; Comisión Europea, 2023), ha experimentado un desarrollo acelerado impulsado por arquitecturas transformadoras. Los *transformers* han generado un impacto innovador en los modelos generativos actuales de IA, fusionando mecanismos de atención que procesan secuencias de datos en paralelo, impulsando la evolución en modelos como GPT y BERT, capaces de producir textos coherentes y controlar tareas multimodales, transformando así el campo educativo al impulsar sistemas de IA generativa que facilitan la personalización de la enseñanza-aprendizaje y el soporte a formadores (Vaswani et al., 2017; González-González, 2023; García-Peñalvo et al., 2024). No obstante, esta transformación tecnológica plantea desafíos éticos y técnicos significativos, particularmente en lo concerniente a la protección de la privacidad y la actualización

pedagógica necesaria para su adecuada implementación en contextos educativos diversos como el colombiano.

El índice de desarrollo humano constituye una herramienta metodológica fundamental para comprender la relación entre educación y desarrollo, integrando dimensiones de salud, educación e ingreso que permiten evaluar el progreso de las naciones más allá de indicadores puramente económicos. Colombia enfrenta desafíos significativos en términos de investigación, desarrollo y adopción de IA, a pesar de los esfuerzos institucionales plasmados en la Política Nacional de Transformación Digital e IA establecida en el CONPES 3975 de 2023, que reconoce a la inteligencia artificial como catalizador clave para la transformación digital. La investigación sobre inteligencia artificial en Colombia ha experimentado un crecimiento considerable, con un enfoque marcado en su implementación en la educación superior, donde universidades y centros de investigación han comenzado a aplicar técnicas de aprendizaje automático y procesamiento del lenguaje natural, focalizándose en resolver problemáticas académicas y optimizar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje (Salas-Pilco & Yang, 2022).

La presente investigación se sustenta en la hipótesis de que existe una relación causal significativa entre mayores y mejores índices de calidad en la educación y el desarrollo nacional a mediano y largo plazo, particularmente cuando esta educación incorpora de manera efectiva tecnologías emergentes como la inteligencia artificial. El objetivo general consiste en establecer esta relación causal y proponer cómo la transformación de la educación impulsada por la IA puede acelerar el desarrollo nacional y generar efectos a corto plazo e impactos sobre variables específicas del desarrollo humano. Para alcanzar este propósito, se han definido tres objetivos específicos: primero, determinar el peso ponderado de la educación frente a otras variables del desarrollo humano, evaluando particularmente su contribución al IDH y estableciendo el estado actual de la calidad educativa en Colombia vinculada con el uso de tecnologías, pedagogía y didáctica; segundo, analizar el potencial real de aplicación de la IA en el contexto educativo colombiano, identificando antecedentes de implementación, riesgos asociados, consideraciones éticas y marcos regulatorios necesarios, así como niveles de madurez comparados con buenas prácticas internacionales; y tercero, establecer los efectos causales específicos que la educación potenciada con IA puede generar sobre factores determinantes del desarrollo nacional colombiano, propuestas e iniciativas estratégicas.

La investigación se estructura mediante un diseño mixto secuencial que integra componentes cualitativos y cuantitativos para abordar de manera comprehensiva

la relación entre educación, inteligencia artificial y desarrollo nacional. El enfoque cualitativo se fundamenta en el paradigma interpretativo, buscando entender el contexto y las perspectivas de los individuos involucrados en los procesos educativos, valorando la subjetividad y el sentido humano (Díaz-Bravo et al., 2013). Esta metodología cualitativa descriptiva forma parte de un proceso general de estudio e investigación que intenta alcanzar a comprender las informaciones referentes sobre aspectos de la realidad, permitiendo así realizar un análisis conceptual sobre los impactos de la IA en la educación en Colombia, abordándola con enfoque de fenómeno social que conlleva a impactos significativos.

El componente cuantitativo de la investigación se centra en el análisis de indicadores del índice de desarrollo humano, particularmente aquellos relacionados con la dimensión educativa, así como en la evaluación de datos estadísticos sobre cobertura, calidad y resultados educativos en Colombia. Se realiza un análisis comparativo de series temporales que permite identificar tendencias en la evolución de indicadores educativos y su correlación con variables de desarrollo económico y social. La recopilación de datos cuantitativos incluye información de fuentes oficiales como el MEN, el DANE, informes de la OCDE y documentos de política pública como el CONPES 4144 de 2025 sobre la Política General de IA en Colombia.

Para el análisis de la implementación de IA en contextos educativos, se adopta un enfoque de revisión sistemática de literatura que examina experiencias nacionales e internacionales documentadas en publicaciones académicas y reportes institucionales. Esta revisión permite identificar modelos predictivos para estimar rendimiento académico y anticipar deserción escolar, así como aplicaciones de *chatbots* en plataformas académicas y herramientas de análisis avanzado de datos educativos desarrolladas en entornos como Python y R (Castrillón et al., 2020; Palacios et al., 2021; Jiménez-García et al., 2025). El análisis crítico de estas experiencias posibilita la identificación de factores de éxito, obstáculos encontrados y lecciones aprendidas que resultan transferibles al contexto colombiano, considerando sus particularidades culturales, socioeconómicas e institucionales.

La triangulación metodológica se configura como estrategia central para garantizar la validez y confiabilidad de los hallazgos, contrastando datos cuantitativos de indicadores de desarrollo con información cualitativa derivada de análisis documental y experiencias de implementación. Este proceso de triangulación permite construir una comprensión integral del fenómeno estudiado, superando las limitaciones inherentes a enfoques metodológicos únicos. El análisis de datos se realiza mediante matrices de doble entrada que relacionan variables educativas

con indicadores de desarrollo, utilizando coeficientes de correlación y análisis de regresión cuando resulta apropiado para establecer relaciones causales entre las variables estudiadas. Para el análisis cualitativo, se emplea codificación temática que identifica categorías emergentes relacionadas con facilitadores y barreras para la implementación efectiva de IA en educación, así como percepciones sobre su impacto potencial en la calidad y equidad educativa.

La comprensión de la relación entre educación, tecnología y desarrollo nacional requiere la articulación de diversos marcos teóricos que iluminen las dimensiones económicas, sociales y pedagógicas del fenómeno estudiado. La Teoría del Capital Humano, desarrollada inicialmente por Theodore Schultz y Gary Becker, establece que la inversión en educación constituye una forma de acumulación de capital que incrementa la productividad individual y colectiva, generando retornos económicos tanto privados como sociales. Esta perspectiva teórica resulta fundamental para comprender cómo mejoras en la calidad educativa, potenciadas por tecnologías como la inteligencia artificial, pueden traducirse en incrementos sostenidos en el desarrollo económico nacional. La educación, desde esta óptica, no representa un gasto sino una inversión estratégica que genera externalidades positivas en múltiples dimensiones del desarrollo humano, incluyendo salud, participación ciudadana y cohesión social.

La teoría del desarrollo humano, propuesta por Amartya Sen y operacionalizada en el índice de desarrollo humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, ofrece un marco conceptual más amplio que trasciende la dimensión puramente económica del desarrollo. Esta perspectiva concibe el desarrollo como expansión de las capacidades y libertades reales de las personas para llevar el tipo de vida que valoran y tienen razones para valorar. La educación, en este marco teórico, representa tanto un fin en sí misma como un medio instrumental para expandir otras capacidades humanas fundamentales. La incorporación de tecnologías de inteligencia artificial en procesos educativos puede interpretarse como estrategia para ampliar las capacidades de aprendizaje, personalización y acceso al conocimiento, contribuyendo así a la expansión de libertades sustantivas de los individuos.

El conectivismo, teoría del aprendizaje propuesta por George Siemens y Stephen Downes para la era digital, reconoce que el conocimiento no reside únicamente en los individuos, sino que se distribuye a través de redes de información y tecnología. Esta perspectiva teórica resulta especialmente pertinente para comprender las transformaciones educativas en contextos de ubicuidad digital y acceso masivo a información. La inteligencia artificial, desde este marco, puede

conceptualizarse como tecnología que facilita la navegación y construcción de significado en ecosistemas complejos de información, desarrollando competencias de aprendizaje autónomo y pensamiento crítico esenciales para el siglo XXI. Los *Transformers* y modelos generativos como GPT representan manifestaciones concretas de esta distribución del conocimiento en redes tecnológicas que pueden potenciar el aprendizaje humano cuando se integran adecuadamente en diseños pedagógicos fundamentados (Vaswani et al., 2017; García-Peñalvo et al., 2024).

Los conceptos de mayor relevancia son: la inteligencia artificial orientada a la educación se define como el uso de sistemas y algoritmos que automatizan y personalizan procesos de enseñanza y aprendizaje, adaptándose a las necesidades individuales de los estudiantes para mejorar su rendimiento académico y facilitar la labor docente (Colombia Aprende, s. f.; UNESCO, 2021; INCIBE, 2023). Esta conceptualización enfatiza tanto la dimensión de personalización como la de eficiencia en procesos educativos, reconociendo que la IA no sustituye, sino que complementa y potencia la labor pedagógica humana. Los sistemas de IA educativa abarcan desde plataformas adaptativas de aprendizaje hasta herramientas de análisis predictivo de desempeño académico, pasando por asistentes virtuales y sistemas de tutoría inteligente que brindan retroalimentación personalizada a los estudiantes.

El desarrollo nacional se comprende como proceso multidimensional de expansión de capacidades económicas, sociales, políticas y culturales de una sociedad, orientado al mejoramiento sostenible de la calidad de vida de su población. Este concepto trasciende la noción restringida de crecimiento económico, incorporando dimensiones de equidad, sostenibilidad ambiental, fortalecimiento institucional y ampliación de libertades reales. En el contexto colombiano, el desarrollo nacional enfrenta desafíos estructurales relacionados con desigualdad regional, violencia, corrupción y limitaciones en infraestructura y capital humano, requiriendo estrategias integrales que articulen políticas educativas, económicas y sociales. El índice de desarrollo humano constituye el principal indicador compuesto para medir el desarrollo, integrando dimensiones de salud medida por esperanza de vida, educación evaluada mediante años esperados y promedio de escolaridad, e ingreso reflejado en el PIB per cápita.

La calidad educativa se conceptualiza como la medida en que el sistema educativo logra que los estudiantes alcancen los objetivos de aprendizaje establecidos, desarrollen competencias relevantes para su vida personal y social, y accedan a oportunidades equitativas de formación. Esta definición integra dimensiones de pertinencia curricular, efectividad pedagógica, cualificación docente, disponibilidad

de recursos y ambientes de aprendizaje, así como resultados medibles en términos de desempeño académico y desarrollo de habilidades. En el contexto colombiano, la calidad educativa se evalúa mediante pruebas estandarizadas como Saber y el desempeño en evaluaciones internacionales como PISA, revelando persistentes brechas entre regiones, sectores socioeconómicos y áreas urbanas y rurales que demandan intervenciones focalizadas y sostenidas.

La educación multimodal representa un modelo educativo que integra diferentes modalidades de enseñanza, incluyendo presencial, mixta y en línea, ofreciendo flexibilidad y diversificación de opciones de aprendizaje que se adaptan a las necesidades y circunstancias diversas de los estudiantes.

La característica principal de un sistema de educación multimodal reside en que define los principios y lineamientos que conllevan la implementación de modalidades de educación a distancia, colocando las condiciones para flexibilizar los procesos educativos y permitiendo promover estrategias didácticas altamente mediadas por la tecnología. (Guzmán & Escudero, 2016, s. p.)

Este modelo cobra especial relevancia en contextos pospandemia, donde la experiencia de educación remota de emergencia evidenció tanto posibilidades como limitaciones de la enseñanza mediada por tecnología, demandando diseños instruccionales rigurosos que garanticen calidad educativa independientemente de la modalidad.

Las competencias digitales constituyen el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para utilizar de manera efectiva, segura y crítica las tecnologías de información y comunicación en diversos contextos personales, profesionales y sociales. Estas competencias trascienden el mero dominio instrumental de herramientas tecnológicas, abarcando dimensiones de alfabetización informacional, comunicación digital, creación de contenidos, seguridad y resolución de problemas en entornos digitales. Para docentes, las competencias digitales resultan esenciales para diseñar experiencias de aprendizaje enriquecidas con tecnología, seleccionar recursos digitales apropiados, facilitar interacciones virtuales efectivas y evaluar aprendizajes en contextos mediados por tecnología. La pandemia del COVID-19 evidenció brechas significativas en competencias digitales tanto de docentes como de estudiantes en Colombia, particularmente en regiones rurales y sectores socioeconómicos vulnerables, demandando programas sistemáticos de formación y actualización que posibiliten una integración efectiva de IA en educación.

## Educación y desarrollo humano: la calidad de la educación y el uso de tecnologías en Colombia

Este apartado analiza la calidad de la educación, el uso de tecnologías en Colombia y el rol crucial y a la vez complejo de la educación en el marco del índice de desarrollo humano (IDH). Se comienza detallando la metodología del IDH, destacando que la educación, con un peso ponderado de 33,33 %, es equiparable a la salud y los ingresos, aunque su impacto real es exponencialmente mayor al ser un habilitador transversal que potencia las otras dos dimensiones. Posteriormente, se sitúa a Colombia en el contexto global y regional, revelando que el país se encuentra en el grupo de alto desarrollo humano (posición 91, 2023), pero con una preocupante brecha respecto al promedio de la OCDE en años esperados y promedio de escolaridad. La sección crítica del estudio aborda la calidad educativa mediante los resultados de las pruebas PISA 2022, donde más del 50 % de los estudiantes colombianos no alcanzan el nivel de competencia básico en matemáticas, lectura y ciencias, evidenciando desafíos estructurales. Finalmente, se destaca la integración de tecnologías como prioridad, mencionando avances en la reducción de la ratio de estudiantes por computador, pero alertando sobre las profundas brechas territoriales en conectividad (rural vs. urbano) y la desigualdad entre departamentos, lo cual perpetúa un ciclo de inequidad generacional que requiere de una transformación sistémica y estratégica de la educación para acelerar el desarrollo humano en el país.

### Metodología del índice de desarrollo humano y el peso de la educación

El índice de desarrollo humano (IDH), desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), constituye una herramienta fundamental para medir el progreso de las naciones más allá de indicadores meramente económicos. Su metodología, implementada desde 2010, establece una valoración equitativa entre tres dimensiones fundamentales del desarrollo: salud, educación e ingresos. Esta aproximación multidimensional permite comprender de manera integral las capacidades y oportunidades disponibles para las poblaciones.

#### *Composición y peso ponderado de las dimensiones del IDH*

El IDH se calcula mediante la media geométrica de tres índices normalizados, otorgando un peso ponderado idéntico de 33,33 % a cada dimensión:

Dimensión de Salud (33,33 %):

- Indicador: Esperanza de vida al nacer
- Rango de medición: Veinte a ochenta y cinco años
- Representa la capacidad de tener una vida larga y saludable

Dimensión de Educación (33,33 %):

- Indicador 1: Años esperados de escolaridad (rango: 0-18 años)
- Indicador 2: Años promedio de escolaridad (rango: 0-15 años)
- Representa el acceso al conocimiento y las capacidades cognitivas

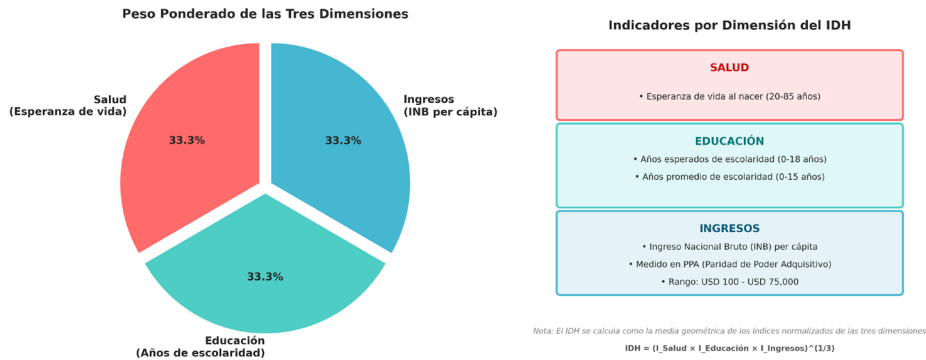
Dimensión de Ingresos (33,34 %):

- Indicador: Ingreso nacional bruto (INB) per cápita en PPA
- Rango de medición: USD 100 a USD 75 000
- Representa el nivel de vida digno y el acceso a recursos

La fórmula de cálculo del IDH es:

$$\text{IDH} = (\text{Índice Salud} \times \text{Índice Educación} \times \text{Índice Ingresos})^{(1/3)}$$

Figura 1. Composición del índice de desarrollo humano



Nota: Esta ponderación equitativa refleja el principio fundamental del enfoque de desarrollo humano: las tres dimensiones son igualmente esenciales para el bienestar y las oportunidades de las personas. No obstante, la educación adquiere un carácter especialmente estratégico al constituir un habilitador transversal que impacta positivamente tanto en la salud como en los ingresos de la población.

Fuente: elaboración propia.

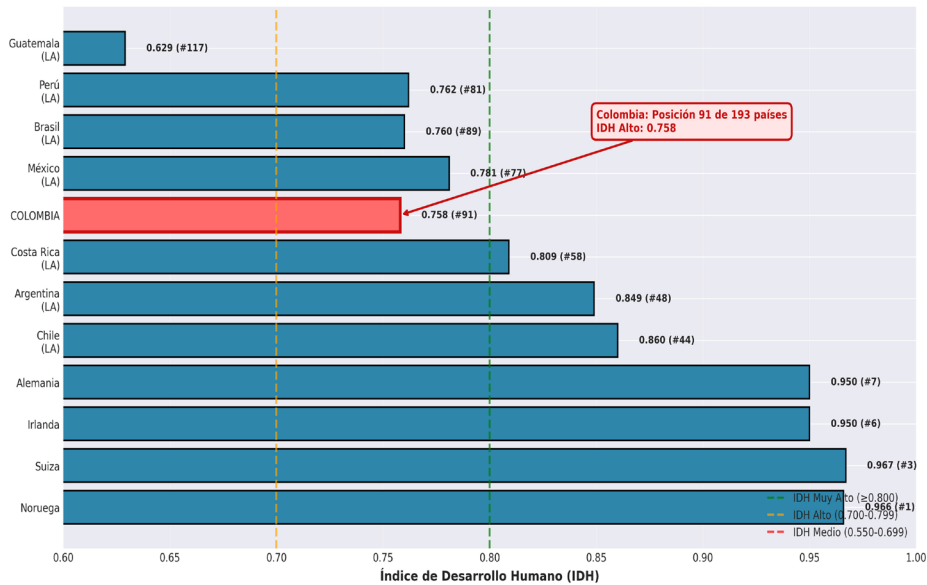
## Colombia en el índice de desarrollo humano 2023

### Posicionamiento nacional y comparación regional

Según el Informe de desarrollo humano 2024 del PNUD, Colombia se mantiene en el grupo de países con alto índice de desarrollo humano, aunque experimentó un descenso en su posición relativa. El país pasó de la posición ochenta y ocho (IDH: 0,752) en 2022 a la posición noventa y uno (IDH: 0,758) en 2023, de un total de 193 países evaluados. “Colombia se mantiene en el grupo de los países con alto índice de desarrollo humano, a pesar de haber pasado de la posición 88 (0,752) en el 2022 a 91 (0,758) en 2023, de un total de 193 países” (PNUD, 2024, s. p.).

Este descenso posicional, pese a la mejora marginal en el valor del índice, refleja que otros países han avanzado con mayor celeridad en sus trayectorias de desarrollo humano. En el contexto latinoamericano, Colombia ocupa la posición catorce entre los países de América Latina y el Caribe, ubicándose detrás de economías como Chile (posición 44, IDH: 0,860), Argentina (posición 48, IDH: 0,849), Costa Rica (posición 58, IDH: 0,809), Brasil (posición 89, IDH: 0,760) y Perú (posición 81, IDH: 0,762).

**Figura 2.** Índice de desarrollo humano: Colombia en el contexto regional y mundial (2023)



Fuente: PNUD (2024).

Composición del IDH colombiano: análisis por dimensiones

Los componentes eWespecíficos del IDH de Colombia para el periodo 2023 son:

Dimensión de Salud:

- Esperanza de vida: 73,66 años (2022)
- Incremento respecto a 2021: 0,86 años

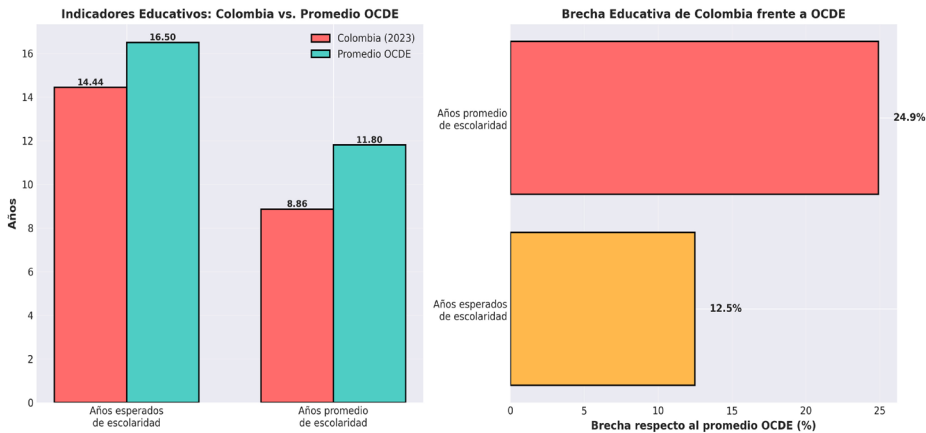
Dimensión de Educación:

- Años esperados de escolaridad: 14,44 años
- Años promedio de escolaridad: 8,86 años
- Brecha respecto al promedio OCDE: 12,5 % en años esperados y 24,9 % en años promedio

Dimensión de Ingresos:

- Ingreso nacional bruto (INB) per cápita: USD 15 013 (PPA 2022)
- Incremento respecto a 2021: USD 629

Figura 3. Componentes educativos del IDH: Colombia vs. promedio OCDE



Fuente: OCDE.

## Rol estratégico de la educación en el desarrollo humano de Colombia

### *La educación como variable multiplicadora del desarrollo*

Aunque el peso ponderado de la educación dentro del IDH es de 33,33 %, su impacto real sobre el desarrollo humano trasciende esta proporción matemática. La educación opera como un habilitador fundamental que potencia las otras dos dimensiones del desarrollo. Mayor educación se correlaciona con mejores prácticas de salud preventiva, incrementa la comprensión y adherencia a tratamientos médicos, y reduce la mortalidad materna e infantil. En términos de ingresos, la educación determina la inserción efectiva en el aparato productivo, influye directamente en la productividad laboral, y habilita el acceso a empleos de mayor calificación y remuneración.

Desde PNUD queremos insistir que el desarrollo se construye con las personas y desde sus territorios. Hay que ir más allá de los ingresos, más allá de los promedios, más allá de los sectores, más allá de cada brecha, hay que tener una mirada sistémica, de relaciones e interacciones entre los actores de desarrollo. (PNUD, 2024, s. p.)

### *Brechas educativas territoriales: la fractura del desarrollo*

El Informe de desarrollo humano para Colombia 2024 revela una problemática crítica: las profundas disparidades territoriales en el acceso y calidad educativa. La diferencia entre el departamento de mayor IDH (Bogotá: 0,780) y el de menor IDH (Guainía: 0,538) es de 0,25 puntos, una brecha significativamente mayor que la observada en países con desarrollo más equitativo. A modo de comparación, Argentina presenta una diferencia interdepartamental de apenas 0,076 puntos. El PNUD (2024) señala que, en educación:

[...] las trayectorias educativas resultan esenciales para el desarrollo humano de las personas y para la sociedad en sí misma, dado que la baja calidad y poca pertinencia de la educación impide que haya inserción eficiente en el aparato productivo. Las desigualdades educativas se acumulan generacionalmente: en Colombia, se requieren de 10 generaciones para salir de la pobreza, mientras que en Finlandia o Noruega se requieren cerca de tres generaciones. (PNUD, 2024, s. p.)

## Estado actual de la calidad educativa en Colombia

### Evaluación internacional: resultados PISA

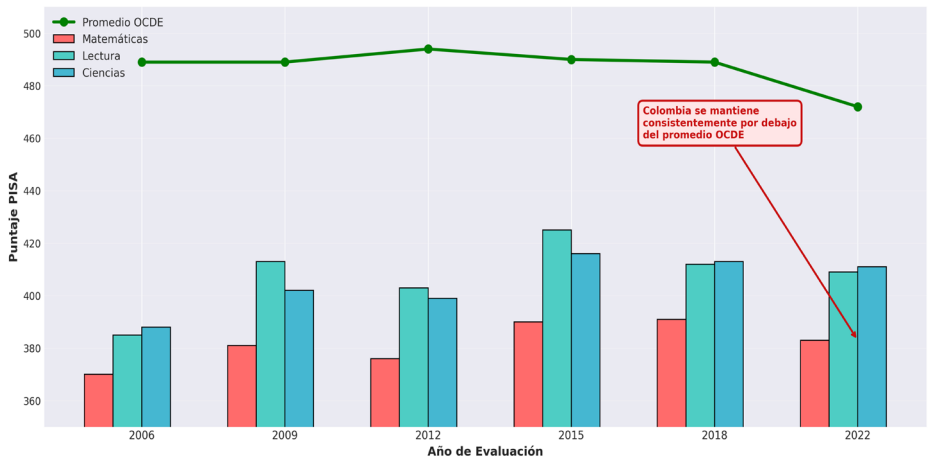
Las pruebas del Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA) de la OCDE constituyen el estándar internacional para evaluar la calidad educativa. Los resultados de Colombia en las evaluaciones PISA 2022 evidencian desafíos estructurales persistentes:

Resultados PISA 2022 - Colombia:

- Matemáticas: 383 puntos (promedio OCDE: 472 puntos) - Déficit de ochenta y nueve puntos
- Lectura: 409 puntos (promedio OCDE: 476 puntos) - Déficit de sesenta y siete puntos
- Ciencias: 411 puntos (promedio OCDE: 485 puntos) - Déficit de setenta y cuatro puntos

Colombia ha participado en seis evaluaciones PISA desde 2006. El análisis longitudinal muestra una notable estabilidad en los resultados, con mejoras moderadas entre 2006 y 2015, seguidas de un ligero descenso en las últimas dos evaluaciones (2018 y 2022). Más del 50 % de los estudiantes colombianos no alcanzaron el nivel 2 de competencia (considerado el nivel básico mínimo) en las tres áreas evaluadas en 2022.

Figura 4. Evolución del desempeño de Colombia en pruebas PISA (2006-2022)



Fuente: OCDE-PISA.

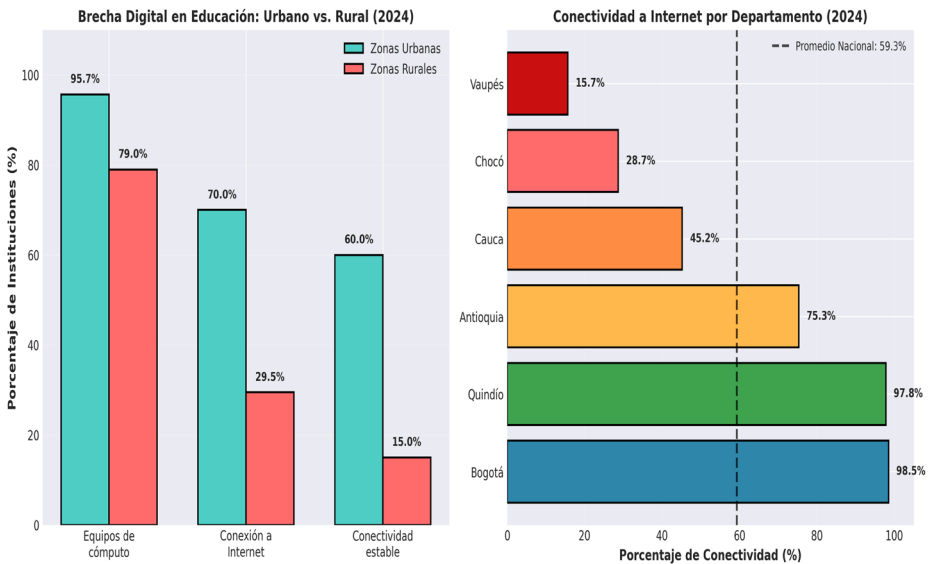
# Integración de tecnologías en la educación colombiana

## Infraestructura tecnológica: avances y brechas persistentes

La transformación digital del sistema educativo colombiano ha sido identificada como una prioridad estratégica. Según datos del MinTIC, Colombia ha reducido la brecha digital educativa en 79 % entre 2010 y 2024, pasando de una razón de diecinueve estudiantes por computador a cuatro estudiantes por equipo. En 2024, el 79 % de las sedes educativas cuentan con equipos de cómputo y el 59,3 % tienen conexión a internet.

Sin embargo, estas cifras nacionales ocultan disparidades territoriales profundas. Según la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) 2023 del DANE, en zonas urbanas el 70 % de hogares tiene acceso a internet, mientras que en zonas rurales solo el 41 % cuenta con este servicio. A nivel de instituciones educativas, el 95,7 % de las urbanas tienen conexión versus menos del 50 % de las rurales.

Figura 5. Brecha digital en educación: Colombia 2024



Fuente: elaboración propia con base en MinIC (2024) y DANE (2023).

Las brechas regionales son aún más pronunciadas. Departamentos como Bogotá D.C. y Quindío han alcanzado niveles de conectividad cercanos al 100 % en sus instituciones educativas, mientras que departamentos como Vaupés (15,7 %) y Chocó (28,7 %) enfrentan carencias estructurales severas que limitan drásticamente las oportunidades educativas de sus estudiantes.

## Síntesis: la educación como potenciador del desarrollo humano en Colombia

El análisis del peso ponderado de la educación en el IDH y del estado actual de la calidad educativa en Colombia revela una paradoja fundamental: mientras que la educación representa teóricamente un tercio del índice de desarrollo humano, su impacto real sobre las trayectorias de desarrollo humano es exponencialmente mayor debido a su rol habilitador de las dimensiones de salud e ingresos. Colombia se encuentra en un punto crítico donde, a pesar de avances incrementales en acceso y cobertura educativa, persisten desafíos estructurales que limitan la calidad, la equidad y la pertinencia de la educación:

- Brechas de calidad: los resultados en evaluaciones internacionales (PISA) evidencian que Colombia se mantiene consistentemente por debajo de los estándares de la OCDE, con más del 50 % de estudiantes sin alcanzar competencias básicas.
- Inequidad territorial: las disparidades entre regiones urbanas y rurales, así como entre departamentos, perpetúan ciclos de desigualdad que requieren diez generaciones para superarse.
- Brecha digital: aunque se han realizado avances significativos en dotación tecnológica, persisten carencias críticas en conectividad y formación docente, especialmente en zonas rurales.
- Desconexión con el aparato productivo: la falta de pertinencia educativa limita la inserción efectiva de los egresados en el mercado laboral y reduce el impacto de la educación en la productividad nacional.

La transformación del sistema educativo colombiano, potenciada por la integración estratégica de tecnologías digitales, metodologías pedagógicas innovadoras y una mayor pertinencia con las necesidades del desarrollo sostenible, constituye una condición indispensable para acelerar el desarrollo humano del país y avanzar hacia una sociedad más equitativa, productiva y preparada para los desafíos del siglo XXI.

## Análisis del potencial de aplicación de la IA en el contexto educativo colombiano: consideraciones técnicas, éticas y normativas

La incorporación de la inteligencia artificial (IA) en el sector educativo de Colombia es una estrategia fundamental para mitigar las desigualdades de calidad y acceso evidenciadas en el bajo rendimiento PISA y las profundas brechas regionales. Sin embargo, para que la IA actúe como una herramienta de equidad, su implementación debe ser cuidadosamente gestionada bajo tres pilares: técnico, ético y normativo, con un enfoque consciente en la realidad territorial del país.

La viabilidad técnica de la IA en la educación colombiana está directamente condicionada a la superación de los déficits de infraestructura digital. La promesa de la personalización del aprendizaje a través de sistemas tutores inteligentes (STI) exige no solo equipos, sino una conectividad estable y de alta velocidad, un recurso aún escaso en las zonas rurales (Ayala-Pazmiño, 2023). Si la infraestructura digital básica permanece sin resolverse, cualquier solución de IA solo beneficiará a los centros urbanos más avanzados, agudizando la fractura del desarrollo.

Para asegurar la pertinencia, la estrategia debe centrarse en el desarrollo de soluciones contextualizadas. Las propuestas de crear laboratorios de innovación educativa con IA y la articulación con los Hubs regionales SENA son esenciales. Estas iniciativas fomentan la cocreación y garantizan que los modelos de IA sean entrenados con datos locales y diseñados para abordar problemas pedagógicos específicos de Colombia, como la enseñanza de matemáticas o la prevención de la deserción. Las alianzas entre la academia, el sector privado y las entidades públicas son clave para generar el talento humano nacional capaz de mantener, actualizar y auditar estas plataformas, asegurando su sostenibilidad.

El uso de la IA en entornos educativos abre posibilidades para que estudiantes y docentes exploren estas tecnologías, optimizando procesos operativos, con enfoque en desarrollo profesional y mejoría de prácticas pedagógicas. La dimensión ética es el pilar más crítico, pues los algoritmos, si están mal diseñados o entrenados, pueden amplificar las injusticias sociales. El principal riesgo es el sesgo algorítmico, definido como "errores o inclinaciones involuntarias que se introducen en los sistemas de IA durante su desarrollo o uso" que "pueden reflejar los sesgos de las personas que diseñaron o entrenaron el sistema" (Villegas, 2024, párr. 3). Estos sesgos pueden manifestarse cuando los sistemas entrenados con datos que

Tabla 1. Hubs regionales SENA

| SENA PROYECTOS IA                                               |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FORMACIÓN PARA EL TRABAJO SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA | SENA - inversión en este escenario será de \$4.000 millones                                                                                                                                                                       | Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (s.f.). Inteligencia artificial y conectividad para transformar digitalmente a Sabanalarga anuncia el MinTIC. *Ministerio TIC*. Recuperado de [https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/334134:Inteligencia-artificial-y-conectividad-para-transformar-digitalmente-a-Sabalarga-anuncia-el-MinTIC](https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/334134:Inteligencia-artificial-y-conectividad-para-transformar-digitalmente-a-Sabalarga-anuncia-el-MinTIC)[https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/334134:Inteligencia-artificial-y-conectividad-para-transformar-digitalmente-a-Sabalarga-anuncia-el-MinTIC] |
|                                                                 | SENA y Huawei inauguraron Laboratorio de Inteligencia Artificial, primer laboratorio de Cloud Computing e Inteligencia Artificial en Colombia y Latinoamérica para brindar formación en áreas de la Cuarta Revolución Industrial. | Yepes, J. C. (2021, 22 de julio). *SENA y Huawei inauguraron Laboratorio de Inteligencia Artificial*. Negocios e Inspiración. https://blogs.portafolio.co/negocios-e-inspiracion/sena-huawei-inauguraron-laboratorio-inteligencia-artificial/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                 | SENA y MinCiencias lanzan SENAINNOVA, convocatoria nacional para financiar proyectos de tecnología e inteligencia artificial aplicados al campo                                                                                   | SENA. (2025, 24 de enero). *SENA y MinCiencias lanzan SENAINNOVA, convocatoria nacional para financiar proyectos de tecnología e inteligencia artificial aplicados al campo*. SENAINNOVA. https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=7884                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Nota: adviértase el aporte orientado a formación para el trabajo que desarrolla SENA, tomando como referencia la IA, en alianza con el sector productivo del país, contribuyendo a la aplicabilidad tal como refiere el enunciado.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

reflejan disparidades socioeconómicas involuntariamente etiquetan a estudiantes de zonas vulnerables como menos aptos, perpetuando el ciclo de inequidad y “reduciendo las oportunidades educativas para ciertos grupos de estudiantes” (Baker & Hawn, 2021, p. 1054).

Además del sesgo, existe una seria preocupación por el impacto de la IA en el desarrollo cognitivo de los estudiantes. La dependencia de aplicaciones con respuestas inmediatas puede conducir a “la disminución de la capacidad sobre pensamiento independiente y la erosión de las habilidades de resolución de problemas de manera autónoma” (Del Cisne Loján et al., 2024, p. 2370). Estudios recientes confirman que “la automatización de procesos cognitivos podría estar desplazando el esfuerzo mental necesario para desarrollar habilidades críticas y analíticas” (Morán-Ortega et al., 2024, p. 32), fenómeno especialmente preocupante dado que la dependencia de la IA podría limitar la capacidad de los estudiantes para resolver problemas de manera autónoma y fomentar una actitud pasiva hacia el aprendizaje. Esta facilitación excesiva puede fomentar una comprensión superficial del conocimiento en lugar de una maestría genuina de los conceptos.

La implementación de la IA requiere que el marco normativo colombiano (CONPES 3975 y 4144) se complemente con una regulación específica que garantice la calidad y la primacía del rol humano. Es indispensable que el MEN desarrolle

lineamientos de calidad y pertinencia para las soluciones de IA, asegurando que sean pedagógicamente rigurosas y auditables.

Con base en el Decreto 1860 de 1994, capítulo II: Organización de la educación formal, dando alcance al ítem en mención, tomando como referencia a Torre y Baldeón-Calisto (2024), estudios demuestran cómo la IA se potencializa para optimizar el nivel experimenta en la estructura del aprendizaje a nivel de educandos y educadores, abriendo opciones de fortalecer el conocimiento.

Tomando como referencia los niveles de formación estructurados en al artículo once de la Ley 115 de 1994, citando a Enunciación (2024), los estudios muestran que los docentes de colegios están de acuerdo con incorporar la IA en los contenidos y la práctica educativa sin abandonar la enseñanza tradicional, opinión para el desarrollo curricular, aunada a la educación tomando IA. Iniciativas llevadas a cabo por varias universidades en distintos aspectos de la educación, como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Universidades en Colombia líderes en implementación de IA en educación

|                                                                                                | ENTES<br>EDUCATIVOS COLOMBIA                                                                                                                                                                                                  | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDADES<br>COLOMBIA<br>LÍDERES EN<br>IMPLEMENTACIÓN<br>DE IA EN<br>EDUCACIÓN<br>SUPERIOR | Universidad de los Andes, ha implementado diversas iniciativas, como chatbots para asesoría estudiantil y el uso de IoT para practicar matemáticas y lógica con programación no estructurada                                  | Cárdenas Ortiz, P. S. (2022). La planeación, producción y evaluación de eventos MICE en Bogotá durante el periodo 2023-2021 (Trabajo de grado). Universidad Externado de Colombia, Bogotá. Recuperado: <a href="https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/4aa79de0-4558-4a5a-bf32-dcc0e427a716/content">https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/4aa79de0-4558-4a5a-bf32-dcc0e427a716/content</a>                                                                                                                      |
|                                                                                                | Universidad de Caldas - Facultad de Inteligencia Artificial e Ingenierías: Primera facultad de IA en Colombia y América Latina, inaugurada en agosto de 2024 con una inversión de \$54.000 millones (MinTIC y la universidad) | Consultor Salud. (2024, 13 de agosto). Colombia: Primera facultad de inteligencia artificial. Consultor Salud. Recuperado de <a href="https://consultorsalud.com/colombia-prime-facultad-inteligencia-artificial/">https://consultorsalud.com/colombia-prime-facultad-inteligencia-artificial/</a>                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                | Universidad de Caldas - Programas académicos: Ingeniería Energética, Ingeniería y Ciencia de Datos, y Especialización en Machine Learning, cubiertos por la política de gratuidad Puedo Estudiar                              | Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2024, 12 de agosto). Ministerio TIC inauguró la primera facultad de Inteligencia Artificial e Ingenierías de Colombia. Gobierno Digital. Recuperado de <a href="https://gobiernodigital.mintic.gov.co/porta/Noticias/395661:Ministerio-TIC-inauguro-la-primer-facultad-de-Inteligencia-Artificial-e-Ingenierias-de-Colombia">https://gobiernodigital.mintic.gov.co/porta/Noticias/395661:Ministerio-TIC-inauguro-la-primer-facultad-de-Inteligencia-Artificial-e-Ingenierias-de-Colombia</a> |

Continúa tabla...

|                                                                                          | ENTES<br>EDUCATIVOS_COLOMBIA                                                                                                                                                                                                                                    | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNIVERSIDADES<br>COLOMBIA LÍDERES EN<br>IMPLEMENTACIÓN DE<br>IA EN EDUCACIÓN<br>SUPERIOR | Universidad de los Andes, ha implementado diversas iniciativas, como chatbots para asesoría estudiantil y el uso de IoT para practicar matemáticas y lógica con programación no estructurada                                                                    | Cárdenas Ortiz, P. S. (2022). La planeación, producción y evaluación de eventos MICE en Bogotá durante el periodo 2023-2021 (Trabajo de grado). Universidad Externado de Colombia, Bogotá. Recuperado de: <a href="https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/4aa79de0-4558-4a5a-bf32-dcc0e427a716/content">https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/4aa79de0-4558-4a5a-bf32-dcc0e427a716/content</a>                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                          | Universidad de Caldas - Facultad de Inteligencia Artificial e Ingenierías: Primera facultad de IA en Colombia y América Latina, inaugurada en agosto de 2024 con una inversión de \$54.000 millones (MinTIC y la universidad)                                   | Consultor Salud. (2024, 13 de agosto). Colombia: Primera facultad de inteligencia artificial. Consultor Salud. Recuperado de <a href="https://consultorsalud.com/colombia-prime-facultad-inteligencia-artificial/">https://consultorsalud.com/colombia-prime-facultad-inteligencia-artificial/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                          | Universidad de Caldas - Programas académicos: Ingeniería Energética, Ingeniería y Ciencia de Datos, y Especialización en Machine Learning, cubiertos por la política de gratuidad Puedo Estudiar                                                                | Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2024, 12 de agosto). Ministerio TIC inauguró la primera facultad de Inteligencia Artificial e Ingenierías de Colombia. Gobierno Digital. Recuperado de <a href="https://gobiernodigital.mintic.gov.co/portal/Noticias/395661:Ministerio-TIC-inauguro-la-primer-facultad-de-Inteligencia-Artificial-e-Ingenierias-de-Colombia">https://gobiernodigital.mintic.gov.co/portal/Noticias/395661:Ministerio-TIC-inauguro-la-primer-facultad-de-Inteligencia-Artificial-e-Ingenierias-de-Colombia</a>                                                                                 |
|                                                                                          | Universidad del Magdalena (UniMagdalena): Proyecto Aluna 1.0 IA en tu Colegio: Programa piloto en colegios como la IED Técnico Industrial (energías renovables) y la IED Liceo del Norte (robótica y domótica), con formación docente y laboratorios en la nube | Ministerio de Educación Nacional. (2025, 20 de marzo). Aluna 1.0: La apuesta de UniMagdalena y el Gobierno del Cambio para liderar la educación en inteligencia artificial en la región Caribe. Recuperado de <a href="https://www.mineduccion.gov.co/portal/salaprensa/Comunicados/423861:Aluna-1-0-La-apuesta-de-UniMagdalena-y-el-Gobierno-del-Cambio-para-liderar-la-educacion-en-inteligencia-artificial-en-la-region-Caribe">https://www.mineduccion.gov.co/portal/salaprensa/Comunicados/423861:Aluna-1-0-La-apuesta-de-UniMagdalena-y-el-Gobierno-del-Cambio-para-liderar-la-educacion-en-inteligencia-artificial-en-la-region-Caribe</a> |
|                                                                                          | Universidad Externado de Colombia: Comprometida con la formación en IA, aunque sin proyectos concretos detallados en las fuentes                                                                                                                                | Sánchez, J. C. (s.f.). Los retos de la educación superior en el contexto de la Inteligencia Artificial. Universidad Externado de Colombia. Recuperado de <a href="https://www.uexternado.edu.co/la-universidad/los-retos-de-la-educacion-superior-en-el-contexto-de-la-inteligencia-artificial/">https://www.uexternado.edu.co/la-universidad/los-retos-de-la-educacion-superior-en-el-contexto-de-la-inteligencia-artificial/</a>                                                                                                                                                                                                                |

Fuente: elaboración propia, 2025.

Un aspecto central es el cambio en el rol del docente. La investigación reciente confirma que “la IA ha transformado al docente en un facilitador del aprendizaje” donde “el rol del docente ha evolucionado significativamente, pasando de ser un mero transmisor de conocimiento a convertirse en un facilitador del aprendizaje” (Guamán-Gómez et al., 2023, párr. 8). Este cambio implica que el educador “guía y media en el proceso de construcción de conocimiento de los estudiantes, fomentando su autonomía y pensamiento crítico” (Navarro, 2023, citado en Guamán-Gómez et al., 2023, párr. 8).

La IA tiene el potencial de innovar y mejorar significativamente la educación media, ofreciendo contenidos y estrategias pedagógicas adaptadas a estudiantes, priorizando su desarrollo cognitivo y emocional, que se ajustan a las preferencias temáticas, el nivel de madurez y los intereses individuales de los niños, aumentando su participación en procesos de aprendizaje; sustituyendo resistencia al cambio y estructura aportante para docentes, con compromiso de capacitación constante. En Colombia existen casos de éxito de implementación de IA y los beneficios señalados aun a expensas de las dificultades normativas y las preocupaciones éticas, como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3. Casos de éxito en el nivel formal para Colombia

| INSTITUCIÓN EDUCATIVA                      | PROYECTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | IMPACTO SOCIAL                                                                                                                            | FUENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cartagena International School (Cartagena) | Certificación en IA y Big Data: Ofrece un programa pionero para estudiantes de grado 12, con módulos como <i>Fundamentos de la IA</i> , <i>Aprendizaje Profundo</i> y <i>Aplicaciones de la IA en el Mundo Real</i> . Los estudiantes desarrollan proyectos prácticos, como el Alexa Matemático (asistente para enseñar operaciones básicas) y un algoritmo para detectar leucemia mieloide en niños, en colaboración con la startup Arkangel AI | Enfoque en emprendimiento social: Los proyectos integran impacto social, preparando a los estudiantes para el mercado laboral tecnológico | Ekora. (2024, 22 de abril). Revolución educativa: Inteligencia artificial y automatización en la educación colombiana. *Ekora*. <a href="https://ekora.com.co/revolucion-educativa-inteligencia-artificial-y-automatizacion-en-la-educacion-colombiana/">https://ekora.com.co/revolucion-educativa-inteligencia-artificial-y-automatizacion-en-la-educacion-colombiana/</a> |
| Colegio San Carlos (Bogotá)                | Sistema de calificación automatizada con IA: Evalúa respuestas de exámenes y tareas escritas, reduciendo la carga docente y proporcionando retroalimentación inmediata a los estudiantes. Esto ha mejorado su rendimiento académico                                                                                                                                                                                                              | forma parte de iniciativas bogotanas que usan IA para optimizar procesos educativos                                                       | Figueroa Cahnspeyer, M. (2024). Educación en la era de la inteligencia artificial. Revista Contacto Maestro, Marymount Bogotá. <a href="https://marymountbogota.edu.co/revista-contacto-maestro/educacion-en-la-era-de-la-inteligencia-artificial/">https://marymountbogota.edu.co/revista-contacto-maestro/educacion-en-la-era-de-la-inteligencia-artificial/</a>          |
| Colegios públicos de Medellín              | Tutoría basada en IA para matemáticas y ciencias: Sistemas analizan datos de rendimiento y ajustan contenidos en tiempo real, logrando mejoras en calificaciones y mayor interés en áreas STEM                                                                                                                                                                                                                                                   | adaptar metodologías según el desempeño individual de los estudiantes                                                                     | Ekora. (2024, 22 de abril). Revolución educativa: Inteligencia artificial y automatización en la educación colombiana. *Ekora*. <a href="https://ekora.com.co/revolucion-educativa-inteligencia-artificial-y-automatizacion-en-la-educacion-colombiana/">https://ekora.com.co/revolucion-educativa-inteligencia-artificial-y-automatizacion-en-la-educacion-colombiana/</a> |
| Marymount Bogotá                           | Animaciones interactivas y chatbots: Usa plataformas como Animated Drawings y Hello History para hacer el aprendizaje más lúdico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Implementación de chatbots para apoyo socioemocional a estudiantes en riesgo, detectando necesidades tempranas                            | <a href="https://marymountbogota.edu.co/revista-contacto-maestro/educacion-en-la-era-de-la-inteligencia-artificial/">https://marymountbogota.edu.co/revista-contacto-maestro/educacion-en-la-era-de-la-inteligencia-artificial/</a>                                                                                                                                         |

Fuente: elaboración propia (2025).

Una preocupación ética y profesional es que la IA pueda disminuir la relevancia del rol del docente, transformándolo en un operador técnico. Para contrarrestar esto, el marco normativo debe invertir masivamente en la actualización profesional. La Red nacional de mentoría docente en IA es la estrategia idónea para lograr esta transformación, pues “esta transformación requiere que los educadores actualicen constantemente sus competencias en cuatro áreas clave: pedagógica, disciplinar, metodológica y tecnológica” (Carrero, 2023, citado en Guamán-Gómez et al., 2023, párr. 9). El marco legal debe hacer obligatoria esta formación para garantizar que el elemento humano, esencial para el desarrollo integral y la comprensión profunda, se mantenga en el centro del proceso educativo.

Para mitigar estos riesgos, la creación de un Observatorio ético y de impacto de la IA en educación es fundamental para auditar algoritmos y garantizar que promuevan la equidad. Paralelamente, el manejo de la privacidad de datos es crucial. La recopilación masiva de información estudiantil debe ser gestionada con máxima transparencia, cumpliendo rigurosamente con la Ley de Habeas Data y asegurando que el consentimiento informado sea la piedra angular, especialmente en el tratamiento de datos de menores.

De acuerdo con AulaPro (2023, marzo), la unificación de IA en la educación ha dado apertura a plataformas que brindan opciones en adquisición de saberes optimizando tiempo, espacio. Es así como en Colombia se requiere en nivel de educación media, superar barreras tecnológicas, fortalecer las competencias con diseños curriculares encaminados en optimizar estructuración de sistemas de IA. Ya que al momento, para este nivel de educación se tiene contemplado proyectos enunciados en el CONPES 4144, tanto en el suministro material educativo, didácticas digitales, y herramientas pedagógicas en las sedes educativas oficiales, proporcionando conectividad, proyectada entre 2025 y 2030, sumado al enfoque de Computadores para Educar, en alianza con el MEN y el MinTIC, realiza la estructuración e implementación de estrategias que permiten encaminar la entrega de dispositivos educativos con contenidos y herramientas pedagógicas en sedes oficiales, que se ajuste a las políticas públicas educativas y a la ampliación de la cobertura de conectividad en las instituciones educativas del país, labor con inicio en 2025 y culminación en 2030.

En concordancia, se documenta este ítem con la Tabla 4 y el análisis de cuatro plataformas de interés y común uso, incorporando IA en el sector educativo formal para Colombia, generado avances en métodos pedagógicos y dinámicas de aprendizaje como son: Google Classroom, Duolingo, Khan Academy y Coursera, usadas a nivel de IA, encaminadas a optimizar niveles cognitivos acorde a diferentes niveles educativos.

La continua incorporación de la IA en el ámbito educativo ha transformado profundamente enfoques tradicionales de aprendizaje-enseñanza. Esta revolución tecnológica ha abierto nuevas posibilidades para personalizar el aprendizaje, proporcionando retroalimentación inmediata y reduciendo el tiempo que los docentes dedican a la planificación de clases (Ayala-Pazmiño, p. 894). Además, la evaluación automatizada se ha convertido en una herramienta eficaz para calificar tareas y exámenes, lo que optimiza los procesos administrativos (Lima et al., p. 102).

**Tabla 4.** Plataformas de IA en la educación

| Características         | Coursera                                                            | Duolingo                                                      | Khan Academy                                                            | Google Classroom                                                          |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Enfoque principal       | Cursos universitarios y especializaciones                           | Aprendizaje de idiomas con gamificación                       | Educación básica y secundaria gratuita                                  | Gestión educativa y colaboración                                          |
| Uso principal de IA     | Recomendaciones personalizadas de cursos, seguimiento de progreso   | Adaptación dinámica de dificultad y gamificación interactiva  | Adaptación de contenido según rendimiento y necesidad                   | Integración indirecta, optimización mediante otras aplicaciones de Google |
| Tipo de personalización | Avanzada, basada en intereses y objetivos profesionales del usuario | Dinámica, ajustada en tiempo real al desempeño del estudiante | Personalización de ejercicios según fortalezas y debilidades del alumno | Limitada; enfoque principal en organización y comunicación                |
| Automatización          | Retroalimentación automatizada y sugerencias de cursos              | Evaluación automática inmediata, recordatorios personalizados | Ejercicios interactivos con evaluación automática                       | Organización de tareas y evaluaciones simplificadas                       |
| Nivel educativo         | Educación superior y formación profesional                          | Educación informal, autoaprendizaje de idiomas                | Primaria, secundaria y bachillerato principalmente                      | Todos los niveles educativos, especialmente primaria y secundaria         |
| Alcance global          | Global, colaboración con universidades internacionales              | Global, con presencia en más de 180 países                    | Global, con énfasis en acceso gratuito universal                        | Global, especialmente popular en contextos escolares                      |

**Fuente:** elaboración propia (2025).

Sin embargo, estos avances también exigen una reflexión crítica sobre aspectos como la ética en el uso de datos, la transparencia de los algoritmos y la interacción entre humanos y máquinas en el entorno educativo (Gupta et al., p. 6010; Ayala-Pazmiño, p. 896).

A pesar de los beneficios evidentes, el acceso equitativo a estas tecnologías sigue siendo reto, la eficiencia en la gestión del aula y el desarrollo de ambientes inmersivos, como el uso del metaverso, plantean nuevas dinámicas que requieren competencias digitales en estudiantes y docentes (Brum et al., p. 102; p. 106; Gupta et al., p. 6010). Ante este panorama, la colaboración entre docentes, desarrolladores tecnológicos y responsables de políticas públicas resulta crucial para asegurar una implementación ética, efectiva e inclusiva de la IA en la educación contemporánea. Véase en la Tabla 5 la estructura y efecto de las variables en la educación:

Tabla 5. Variables fundamentales de la educación

| Nombre de la variable                 | Definición                                                                                                                                            | Efecto en la educación                                                                     | Fuente                        |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Personalización del aprendizaje       | Capacidad de ofrecer experiencias educativas personalizadas que se ajusten a las necesidades individuales de cada estudiante.                         | Ofrece situaciones educativas relevantes, orientadas a estudiantes.                        | Ayala-Pazmiño, M. (2023).     |
| Retroalimentación inmediata           | Provisión de comentarios instantáneos sobre el rendimiento del estudiante.                                                                            | Facilita aprendizaje continuo y oportuno, permitiendo corrección inmediata.                | Ayala-Pazmiño, M. (2023).     |
| Tiempo de planificación docente       | Reducción del tiempo que maestros dedican a planificación gracias IA.                                                                                 | Optimiza trabajo docente permitiéndole enfocarse en tareas pedagógicas de mayor valor.     | Ayala-Pazmiño, M. (2023).     |
| Evaluación automatizada               | Capacidad de sistemas IA para calificar actividades automáticamente.                                                                                  | Aumenta eficiencia en proceso evaluativo, reduce carga administrativa docente.             | Lima, L. A. O. et al. (2024). |
| Acceso a tecnología                   | Disponibilidad de herramientas IA en diferentes contextos socioeconómicos.                                                                            | Puede ampliar, limitar oportunidades educativas dependiendo del contexto.                  | Lima, L. A. O. et al. (2024). |
| Discriminación algorítmica            | Tendencias de sesgo en algoritmos IA afectando ciertos grupos.                                                                                        | Genera desigualdades, al no corregir sesgos en modelos algorítmicos.                       | Lima, L. A. O. et al. (2024). |
| Ética en uso de datos                 | Consideraciones sobre privacidad, uso de datos de estudiantes.                                                                                        | Fundamental para proteger derechos de estudiantes.                                         | Gupta, P. et al. (2024).      |
| Eficiencia en gestión del aula        | Mejora administración del aula mediante herramientas IA.                                                                                              | Contribuye a entorno organizado, eficiente para el aprendizaje.                            | Brum, Y. K. et al. (2024).    |
| Desigualdad educativa                 | Diferencia en acceso a recursos educativos basados en IA en distintas regiones.                                                                       | Amplificar brechas educativas existentes al no implementar estrategias equitativas.        | Lima, L. A. O. et al. (2024). |
| Desarrollo profesional docente        | Necesidad de capacitación continua para docentes.                                                                                                     | Favorece integración exitosa de IA en contextos educativos.                                | Gupta, P. et al. (2024).      |
| Ambientes de aprendizaje inmersivos   | Uso de tecnologías como el metaverso para mejorar experiencia educativa.                                                                              | Potencian motivación y aprendizaje activo de estudiantes.                                  | Brum, Y. K. et al. (2024).    |
| Colaboración entre partes interesadas | Relevancia del trabajo conjunto entre docentes, creadores de soluciones tecnológicas y autoridades encargadas de la formulación de políticas públicas | Clave para implementación ética efectiva de IA en educación.                               | Gupta, P. et al. (2024).      |
| Transparencia en algoritmos           | Necesidad de claridad sobre cómo funcionan los algoritmos de IA para evitar sesgos.                                                                   | Promueve confianza y equidad en uso de estas herramientas.                                 | Lima, L. A. O. et al. (2024). |
| Competencias digitales                | Habilidades necesarias para que los estudiantes naveguen bajo entorno educativo impulsado por IA.                                                     | Fundamentales para aprovechar oportunidades que ofrece la tecnología.                      | Gupta, P. et al. (2024).      |
| Interacción humano-computadora        | Relación entre estudiantes -herramientas IA en procesos de aprendizaje.                                                                               | Transforma la manera en que estudiantes se involucran con contenido y recursos educativos. | Ayala-Pazmiño, M. (2023).     |

Fuente: elaboración propia (2025).

El análisis del potencial de aplicación de la inteligencia artificial en el contexto educativo colombiano revela una paradoja fundamental: mientras las capacidades técnicas de los sistemas de IA contemporáneos ofrecen posibilidades transformadoras sin precedentes para personalizar el aprendizaje, democratizar el acceso al conocimiento y optimizar la gestión educativa, su implementación efectiva está críticamente condicionada por la resolución de desafíos éticos y el desarrollo de marcos normativos robustos que garanticen equidad, transparencia y protección de derechos fundamentales. Las experiencias internacionales documentadas demuestran que el éxito de la integración de IA en educación no depende primordialmente de la sofisticación tecnológica de las soluciones implementadas, sino de la capacidad de los sistemas educativos para contextualizar estas tecnologías a sus realidades específicas, formar docentes competentes en su uso pedagógico crítico y establecer mecanismos efectivos de auditoría que prevengan la amplificación de sesgos y la profundización de inequidades estructurales.

Colombia enfrenta el desafío histórico de superar la fragmentación de iniciativas actuales mediante una articulación estratégica que integre coherentemente dimensiones técnicas, éticas y normativas bajo un liderazgo institucional claro y un compromiso sostenido de inversión que trascienda ciclos políticos de corto plazo. La viabilidad de materializar el potencial transformador de la IA en educación depende, en última instancia, de la capacidad colectiva de construir consensos multisectoriales que prioricen el desarrollo humano integral sobre la adopción tecnológica acrítica, garantizando que cada decisión de implementación responda a la pregunta fundamental: ¿cómo esta tecnología amplía genuinamente las capacidades y libertades de todos los estudiantes colombianos, particularmente de aquellos históricamente excluidos?

## Educación con IA y desarrollo nacional en Colombia: efectos, propuestas e iniciativas estratégicas

El presente apartado establece las relaciones causales específicas entre la implementación sistémica de inteligencia artificial en el sector educativo colombiano y sus efectos proyectados sobre variables determinantes del desarrollo nacional. El análisis se fundamenta en evidencia empírica derivada de experiencias internacionales documentadas y en proyecciones basadas en modelos teóricos del desarrollo humano, adoptando un enfoque analítico-deductivo que permite trazar cadenas causales desde la intervención tecnológica hasta impactos mensurables en el índice de desarrollo humano y sus componentes constitutivos.

La hipótesis central que orienta este análisis sostiene que existe una relación causal incremental y progresiva entre el nivel de integración de IA en procesos educativos y la calidad educativa resultante, la cual a su vez actúa como variable mediadora determinante del desarrollo nacional medido a través del IDH. Esta relación no es lineal ni automática, sino que está moderada por variables contextuales críticas que incluyen infraestructura digital, competencias docentes, marcos normativos habilitantes, inversión pública sostenida y articulación intersectorial efectiva.

## Cómo la IA potencia la calidad educativa

### *Mecanismos de potenciación educativa mediante IA*

La inteligencia artificial configura un conjunto integrado de mecanismos tecnológicos que transforman cualitativamente los procesos de enseñanza-aprendizaje. Las arquitecturas transformadoras, particularmente los modelos basados en atención multimodal desarrollados por Vaswani et al. (2017), han revolucionado la capacidad de los sistemas computacionales para procesar, comprender y generar contenidos educativos personalizados a escala masiva. Estos sistemas permiten la creación de rutas de aprendizaje adaptativas que se ajustan dinámicamente al ritmo, estilo y necesidades específicas de cada estudiante, superando las limitaciones estructurales de los modelos pedagógicos tradicionales de enseñanza uniforme.

Los sistemas tutores inteligentes representan una materialización concreta de este potencial, proporcionando retroalimentación inmediata y contextualizada que acelera los ciclos de aprendizaje. García-Peñalvo et al. (2024) documentan cómo estos sistemas, cuando se implementan adecuadamente, pueden incrementar el rendimiento académico en matemáticas y ciencias entre 15 % y 25 % comparado con métodos tradicionales, efecto particularmente pronunciado en estudiantes de contextos socioeconómicos vulnerables que históricamente han tenido acceso limitado a tutorías personalizadas.

La personalización del aprendizaje constituye el mecanismo más transformador. Mientras la educación tradicional opera bajo el supuesto de homogeneidad estudiantil, los sistemas de IA permiten identificar patrones individuales de aprendizaje, detectar tempranamente dificultades conceptuales específicas y ajustar estrategias pedagógicas en tiempo real. UNESCO (2024) enfatiza que esta capacidad de adaptación no solo mejora resultados académicos inmediatos, sino que desarrolla competencias metacognitivas fundamentales como autonomía en el aprendizaje y pensamiento crítico, habilitando trayectorias educativas más sostenibles y profundas.

### *Democratización del acceso y reducción de brechas*

Un segundo mecanismo causal crítico radica en la capacidad de la IA para democratizar el acceso a educación de calidad, particularmente relevante en contextos de profunda inequidad territorial como Colombia. Las plataformas educativas potenciadas con IA permiten que estudiantes en zonas rurales remotas, donde

la razón docente-estudiante puede superar 1:40 y donde el acceso a docentes especializados en áreas STEM es prácticamente inexistente, accedan a contenidos educativos de nivel equivalente a instituciones de élite urbanas.

La educación multimodal habilitada por IA trasciende limitaciones geográficas y temporales. Como documenta el análisis de implementación en instituciones colombianas presentado en apartados previos, plataformas como Khan Academy y Duolingo, que integran algoritmos adaptativos de aprendizaje automático, han permitido que estudiantes de municipios con índice de pobreza multidimensional superior al 60 % alcancen niveles de competencia comparables a estudiantes urbanos de estratos socioeconómicos superiores en áreas específicas como matemáticas básicas y comprensión lectora en inglés.

Este efecto democratizador opera mediante tres vías complementarias: primero, reduce la dependencia de la calidad educativa respecto a la disponibilidad de docentes altamente calificados en cada sede educativa; segundo, permite la escalabilidad de mejores prácticas pedagógicas sin los costos prohibitivos de réplica física; tercero, habilita modalidades de aprendizaje asincrónico y autorregulado que se adaptan a las realidades socioeconómicas de familias donde estudiantes deben combinar educación con trabajo o responsabilidades de cuidado.

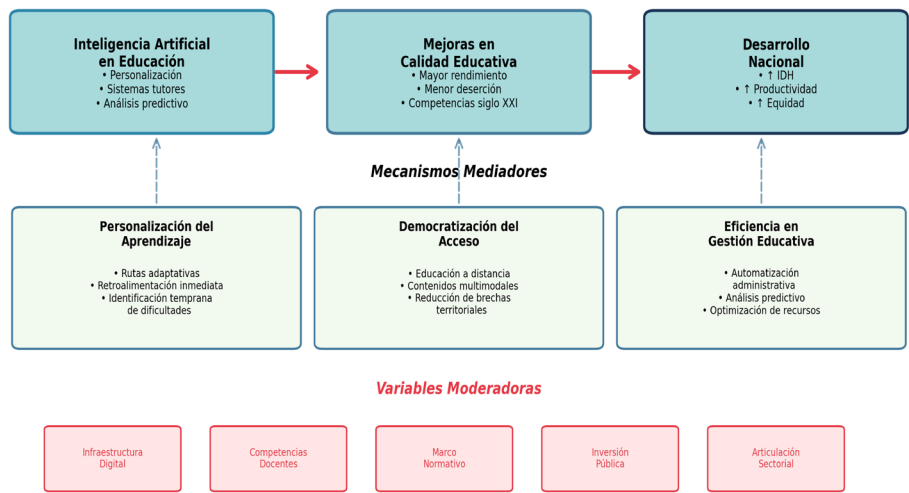
### *Eficiencia en gestión educativa y optimización de recursos*

El tercer mecanismo de potenciación refiere a ganancias en eficiencia operativa que liberan recursos humanos y financieros para actividades pedagógicas de mayor valor añadido. Los sistemas de IA permiten automatizar tareas administrativas repetitivas que consumen entre 30 % y 40 % del tiempo docente: calificación de evaluaciones estandarizadas, registro de asistencia, generación de reportes de progreso, programación de actividades, entre otras. Esta automatización, documentada en experiencias de universidades colombianas líderes en implementación de IA como Los Andes y EAFIT (Tabla 2), permite que los docentes concentren su tiempo en actividades que requieren juicio profesional humano: diseño de experiencias de aprendizaje significativas, mentoría personalizada, facilitación de discusiones críticas, desarrollo de proyectos creativos.

Los sistemas de analítica predictiva, basados en algoritmos de aprendizaje automático, permiten identificar tempranamente estudiantes en riesgo de deserción o bajo rendimiento, habilitando intervenciones preventivas oportunas. Estudios en contextos latinoamericanos similares documentan que estas intervenciones tempranas pueden reducir tasas de deserción escolar entre 12 % y 18 %,

particularmente en transiciones críticas como el paso de primaria a secundaria o de secundaria a educación superior. En el contexto colombiano, donde la tasa de deserción en educación media alcanza 4,47 % según datos del MEN, esta capacidad predictiva representa un potencial transformador significativo.

**Figura 6.** Modelo causal: inteligencia artificial → calidad educativa → desarrollo nacional



**Fuente:** elaboración propia con base en UNESCO (2024); García-Peñalvo et al. (2024); PNUD (2024).

## Relación incremental: mayor IA → mayor calidad educativa → mayor desarrollo

### Evidencia empírica de la relación incremental

La relación entre integración de IA y resultados educativos no es binaria sino progresiva y acumulativa. Evidencia de sistemas educativos que han incorporado sistemáticamente estas tecnologías documenta efectos diferenciales según el nivel de madurez e integración. El modelo conceptual que emerge de esta evidencia distingue cuatro niveles de integración, cada uno asociado con incrementos mensurables en calidad educativa y, subsecuentemente, en indicadores de desarrollo humano.

El nivel básico, caracterizado por uso incipiente y fragmentado de herramientas de IA (calculadoras inteligentes, correctores ortográficos, búsquedas semánticas), genera mejoras modestas estimadas entre 10 % y 15 % en eficiencia de tareas específicas, pero impactos limitados en aprendizaje profundo. El nivel intermedio, donde se integran sistemas de tutoría inteligente y plataformas adaptativas de manera sistemática pero aún no universal, puede incrementar rendimiento académico promedio entre 15 % y 25 %, con efectos particularmente pronunciados en áreas de conocimiento procedural como matemáticas y programación.

El nivel avanzado, caracterizado por integración sistémica donde la IA permea diseño curricular, evaluación formativa continua, desarrollo profesional docente y gestión institucional, puede generar transformaciones cualitativas más profundas. Experiencias en sistemas educativos líderes como Singapur, Estonia y algunas regiones de China documentan incrementos en rendimiento académico entre 30 % y 40 % en pruebas estandarizadas internacionales en periodos de diez a quince años, acompañados de desarrollos significativos en competencias del siglo XXI como pensamiento computacional, creatividad y colaboración digital.

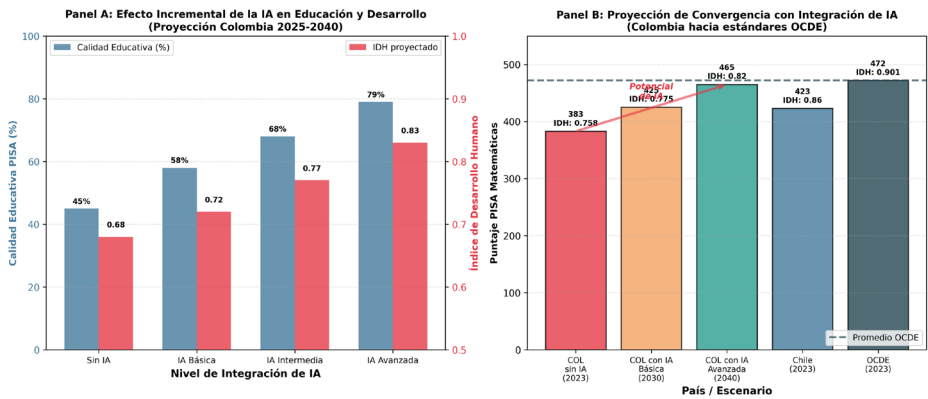
## Proyección de convergencia para Colombia

Aplicando estos patrones empíricos al contexto colombiano y considerando las condiciones estructurales actuales documentadas en apartados previos, es posible proyectar trayectorias de convergencia hacia estándares internacionales. Colombia, con un puntaje PISA 2022 de 383 puntos en matemáticas (ochenta y nueve puntos por debajo del promedio OCDE de 472), enfrenta una brecha que, bajo tendencias históricas de mejora incremental sin intervenciones transformadoras, requeriría aproximadamente cuarenta y cinco años para cerrar.

Sin embargo, la integración sistemática de IA en educación puede acelerar sustancialmente esta convergencia. Un escenario de integración básica a nivel nacional, alcanzable en un horizonte de cinco años (2025-2030) con inversión sostenida equivalente al 0,3 % del PIB anual en infraestructura digital educativa y formación docente, podría incrementar el rendimiento promedio en cuarenta y dos puntos, situando a Colombia en 425 puntos y reduciendo la brecha OCDE a cuarenta y siete puntos. Un escenario de integración avanzada, proyectable en un horizonte de quince años (2025-2040) con inversión acumulada equivalente al 1,2 % del PIB e implementación de reformas estructurales en formación docente inicial y continua, marcos curriculares adaptativos y sistemas de evaluación formativa potenciados con IA, podría situar a Colombia en 465 puntos, prácticamente

convergiendo con el promedio OCDE actual y superando el desempeño actual de países latinoamericanos líderes como Chile (423 puntos).

Figura 7. Efecto incremental de la IA y proyección de convergencia de Colombia hacia estándares OCDE



Nota. Panel A muestra la relación incremental entre nivel de integración de IA, calidad educativa (medida por rendimiento PISA) e IDH proyectado. Panel B presenta escenarios de convergencia de Colombia hacia estándares OCDE bajo diferentes niveles de integración de IA. Proyecciones basadas en modelos empíricos de trayectorias educativas en sistemas que han integrado IA sistemáticamente.

Fuente: OCDE.

## De calidad educativa a desarrollo nacional: cadenas causales mediadas

La relación entre mejoras en calidad educativa potenciadas por IA y desarrollo nacional opera mediante cadenas causales que transitan por múltiples variables intermedias. La teoría del capital humano, desarrollada por Schultz y Becker y refinada por evidencia empírica contemporánea, establece que incrementos sostenidos en logros educativos generan aumentos en productividad laboral que, agregados a nivel nacional, se traducen en crecimiento económico. Estudios econométricos recientes estiman que un incremento de un año en escolaridad promedio de la población económicamente activa se asocia con incrementos en PIB per cápita entre 8 % y 12 % en horizontes de mediano plazo (10-15 años).

En el contexto del índice de desarrollo humano, donde la educación representa 33,33 % del peso ponderado, pero actúa como habilitador transversal de las otras

dimensiones, las mejoras en calidad educativa generan efectos multiplicadores. Mayor educación se correlaciona positivamente con mejores indicadores de salud: poblaciones más educadas adoptan prácticas preventivas más efectivas, comprenden mejores tratamientos médicos, experimentan menor mortalidad materna e infantil. La evidencia epidemiológica documenta que cada año adicional de escolaridad materna reduce mortalidad infantil aproximadamente 10 %, efecto particularmente pronunciado en contextos de países en desarrollo.

Proyectando estos efectos al caso colombiano, donde el IDH actual es 0,758 y la dimensión educativa muestra rezagos significativos respecto al promedio OCDE (brecha de 12,5 % en años esperados de escolaridad y 24,9 % en años promedio de escolaridad), las mejoras en calidad educativa potenciadas por IA pueden acelerar sustancialmente la trayectoria de desarrollo. Un escenario de integración avanzada de IA que logre cerrar parcialmente estas brechas educativas podría impulsar el IDH colombiano hacia 0,820-0,830 en un horizonte de quince años, acercándose al umbral de países con muy alto desarrollo humano ( $IDH \geq 0,800$ ) y convergiendo hacia niveles actuales de economías latinoamericanas más desarrolladas como Chile (0,860).

## Efectos sobre rendimiento académico y competencias fundamentales

El efecto más directo e inmediato de la integración de IA en educación se manifiesta en mejoras mensurables en rendimiento académico. Metaanálisis de implementaciones de sistemas de tutoría inteligente en contextos latinoamericanos documentan incrementos promedio en rendimiento en matemáticas de 0,35 desviaciones estándar, equivalentes a aproximadamente 35-40 puntos en escalas PISA. Estos efectos son particularmente pronunciados en estudiantes de bajo rendimiento inicial, sugiriendo que la IA puede ser instrumento efectivo de reducción de inequidad educativa intraescolar.

Más allá de conocimientos disciplinares específicos, la educación potenciada con IA desarrolla competencias transversales críticas para economías del conocimiento del siglo XXI. La interacción sistemática con sistemas inteligentes desarrolla alfabetización digital avanzada, no meramente como uso instrumental de tecnologías sino como comprensión de lógicas algorítmicas, capacidad de curación crítica de información en entornos digitales saturados, y habilidades de colaboración humano-máquina. Estas competencias, que UNESCO (2024) denomina metacompetencias digitales, son cada vez más determinantes de empleabilidad y productividad en mercados laborales contemporáneos.

## Efectos sobre equidad educativa y reducción de brechas territoriales

Un efecto causal particularmente relevante para el contexto colombiano refiere a la reducción de brechas educativas territoriales. Como se documentó en el Informe de desarrollo humano para Colombia 2024, la diferencia en IDH entre Bogotá D.C. (0,780) y Guainía (0,538) es de 0,25 puntos, significativamente superior a la observada en países con desarrollo más equitativo. Gran parte de esta disparidad se explica por inequidades educativas: diferencias en disponibilidad de docentes calificados, acceso a infraestructura pedagógica y conectividad digital.

La IA, implementada estratégicamente, puede actuar como ecualizador de oportunidades educativas. Plataformas educativas con contenidos adaptativos de alta calidad, accesibles mediante conectividad básica, permiten que estudiantes en municipios remotos accedan a recursos pedagógicos equivalentes a instituciones urbanas de élite. Proyectos piloto en departamentos como Vaupés y Chocó, donde se han implementado aulas digitales con sistemas de IA y conectividad satelital, documentan reducciones de hasta 40 % en brechas de rendimiento respecto a promedios departamentales en áreas específicas como comprensión lectora y matemáticas básicas en periodos de dos a tres años.

Escalando estas experiencias piloto a nivel nacional mediante programas como el proyectado en el CONPES 4144 (2025-2030), que contempla conectividad y dotación tecnológica para instituciones educativas rurales, es posible proyectar reducciones significativas en inequidades territoriales. Un escenario optimista pero realizable, condicionado a inversión sostenida y acompañamiento pedagógico adecuado, podría reducir la brecha interdepartamental en dimensión educativa del IDH en aproximadamente 35-40 % en un horizonte de diez años, contribuyendo sustancialmente a un desarrollo nacional más equitativo e inclusivo.

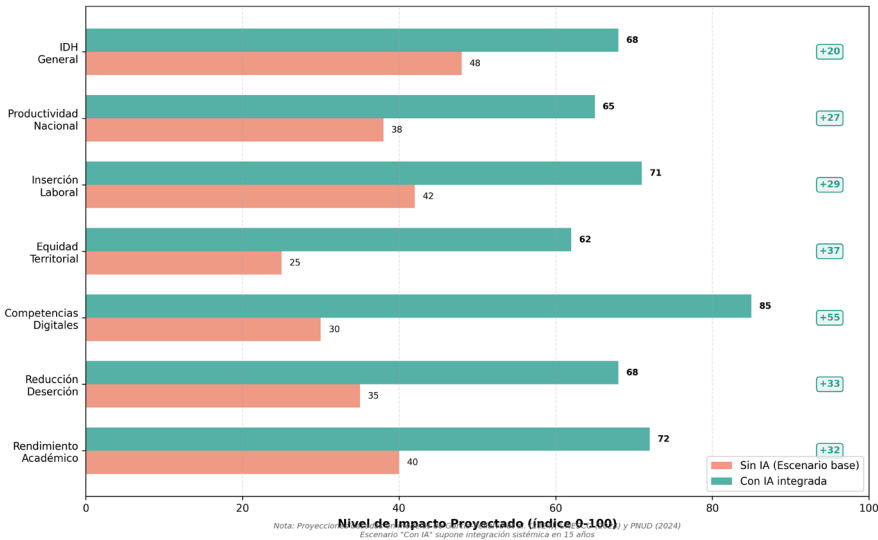
## Efectos sobre inserción laboral y productividad nacional

La dimensión de ingresos del IDH, medida mediante ingreso nacional bruto per cápita, está fundamentalmente determinada por productividad laboral agregada. La educación potenciada con IA genera efectos sobre esta variable mediante dos mecanismos complementarios: primero, incrementa la calidad del capital humano formado, equipando a egresados con competencias más alineadas con demandas de mercados laborales contemporáneos; segundo, facilita transiciones más eficientes entre sistema educativo y aparato productivo mediante sistemas de orientación vocacional y certificación de competencias basados en IA.

Evidencia de economías que han integrado sistemáticamente IA en formación técnica y tecnológica documenta reducciones en tasas de desempleo juvenil entre 15 % y 20 % y aumentos en salarios iniciales de egresados entre 12 % y 18 % comparado con cohortes previas. Estos efectos operan mediante mejor alineación entre competencias adquiridas y requerimientos productivos, facilitada por sistemas de IA que analizan tendencias del mercado laboral y ajustan dinámicamente contenidos y estrategias formativas.

En el contexto colombiano, donde el PNUD (2024) señala que la baja calidad y poca pertinencia de la educación impide inserción eficiente en el aparato productivo, la educación potenciada con IA puede acelerar sustancialmente la transición hacia una economía de mayor productividad. Proyecciones conservadoras sugieren que mejoras en pertinencia educativa facilitadas por sistemas de IA pueden incrementar productividad laboral agregada entre 8 % y 12 % en horizontes de diez a quince años, traduciéndose en incrementos de INB per cápita que podrían impulsar el IDH colombiano en 0,02-0,03 puntos atribuibles específicamente a esta dimensión.

**Figura 8.** Efectos causales específicos de la IA en educación sobre dimensiones del desarrollo nacional colombiano



Nota. Proyecciones de impacto comparando escenario base (sin integración sistemática de IA) versus escenario con integración avanzada de IA en horizonte 2025-2040. Índices normalizados 0-100. Estimaciones basadas en modelos empíricos de trayectorias educativas y efectos documentados en literatura académica.

**Fuente:** García-Peñalvo et al. (2024); UNESCO (2024); PNUD (2024).

# Propuestas e iniciativas estratégicas para Colombia

## Eje estratégico 1. Infraestructura digital educativa nacional

La materialización de los potenciales transformadores de la IA en educación requiere, como condición habilitante fundamental, la universalización de infraestructura digital educativa. Esta iniciativa debe trascender la dotación de equipos para abarcar conectividad de calidad (mínimo 10 Mbps simétricos por institución educativa), plataformas tecnológicas robustas y ecosistemas de contenidos digitales curados y contextualizados. El programa Computadores para Educar, en alianza con el MinTIC y el MEN, proyectado entre 2025 y 2030, constituye un avance significativo, pero requiere ampliación de escala y sostenibilidad financiera de largo plazo.

Propuesta específica: crear el Fondo nacional de infraestructura digital educativa con asignación permanente equivalente al 0,25 % del PIB anual (aproximadamente USD 750 millones anuales), financiado mediante reasignación presupuestal y potencialmente complementado con recursos de cooperación internacional. Este fondo financiaría tres componentes integrados: 1) conectividad universal para todas las sedes educativas oficiales mediante combinación de fibra óptica, radioenlaces y conectividad satelital para zonas de difícil acceso; 2) dotación tecnológica con ciclos de renovación de cinco años que garanticen ratio estudiante-computador de 2:1 o inferior; 3) licenciamiento de plataformas educativas con IA probadas internacionalmente, con preferencia por soluciones de código abierto adaptables a contextos locales.

## Eje estratégico 2. Formación docente en competencias de IA educativa

La integración efectiva de IA requiere transformación profunda en competencias docentes, trascendiendo alfabetización digital básica hacia desarrollo de capacidades de diseño pedagógico con IA, evaluación formativa potenciada con analítica de aprendizaje y curación crítica de contenidos generados por sistemas inteligentes. Como señalan Guamán-Gómez et al. (2023), el rol docente evoluciona de transmisor de conocimiento a facilitador del aprendizaje, requiriendo actualización constante en cuatro áreas clave: pedagógica, disciplinar, metodológica y tecnológica.

Propuesta específica: implementar la Red nacional de mentoría docente en IA educativa, articulada con escuelas normales superiores, facultades de educación y los Hubs regionales SENA identificados en la Tabla 1. Esta red operaría mediante modelo escalonado: 1) formación intensiva de 1000 docentes líderes en competencias avanzadas de IA educativa mediante programas certificados de 200 horas, en alianza con universidades nacionales líderes (Los Andes, Nacional, EAFIT, Javeriana) y organismos internacionales como UNESCO; 2) estos docentes líderes formarían a 20 000 docentes mentores en programas de ochenta horas; 3) los mentores acompañarían a aproximadamente 280 000 docentes del sistema oficial en procesos de formación en servicio de cuarenta horas anuales durante cinco años, alcanzando cobertura universal del magisterio nacional.

### Eje estratégico 3. Laboratorios de innovación pedagógica con IA

La contextualización de soluciones de IA a realidades educativas colombianas requiere espacios de cocreación donde docentes, investigadores educativos, desarrolladores de tecnología y tomadores de decisiones converjan para diseñar, implementar y evaluar intervenciones educativas potenciadas con IA. Estos espacios deben operar bajo lógica de investigación-acción, generando tanto soluciones tecnológicas adaptadas como evidencia empírica robusta sobre efectividad de intervenciones específicas.

Propuesta específica: crear una red de quince laboratorios de innovación pedagógica con IA distribuidos regionalmente, aprovechando infraestructura existente en los Hubs regionales SENA y universidades públicas regionales. Cada laboratorio, con financiación anual de USD 800 000 (total USD 12 millones anuales), desarrollaría: 1) proyectos de investigación-acción sobre implementación de IA en contextos educativos específicos (educación rural, formación técnica, educación especial); 2) desarrollo de soluciones tecnológicas contextualizadas basadas en IA, con datos locales y diseño centrado en usuario; 3) programas de formación práctica para docentes en uso de estas soluciones; 4) evaluaciones rigurosas de impacto que documenten efectividad y generen aprendizajes transferibles a otras regiones.

### Eje estratégico 4. Marco normativo y ético de IA en educación

La implementación responsable de IA en educación requiere marcos normativos que garanticen calidad pedagógica, protección de datos de menores, transparencia

algorítmica y equidad. Si bien Colombia cuenta con marcos generales como el CONPES 3975 y 4144, se requiere normatividad específica educativa que establezca estándares de calidad para soluciones de IA, protocolos de privacidad de datos estudiantiles y mecanismos de auditoría de sesgos algorítmicos.

Propuesta específica: el MEN debe expedir lineamientos nacionales de calidad y ética de IA en educación que establezcan: 1) estándares mínimos de calidad pedagógica que deben cumplir soluciones de IA para ser admisibles en instituciones educativas oficiales; 2) protocolos estrictos de manejo de datos estudiantiles, incluyendo consentimiento informado parental, anonimización de datos personales y limitaciones de uso comercial; 3) creación del Observatorio nacional ético de IA en educación, instancia independiente que audite periódicamente sistemas de IA educativa para identificar sesgos, garantizar transparencia algorítmica y verificar cumplimiento de principios éticos establecidos por UNESCO (2024); 4) requerimientos de explicabilidad que obliguen a proveedores de IA a documentar cómo funcionan sus sistemas, qué datos utilizan y cómo se toman decisiones algorítmicas que afectan trayectorias educativas de estudiantes.

## Eje estratégico 5. Financiamiento sostenible y articulación público-privada

La transformación educativa potenciada con IA requiere inversión sostenida equivalente a aproximadamente 1,2 %-1,5 % del PIB acumulado en horizonte de quince años, superior a capacidades presupuestales tradicionales del sector educativo. Esto demanda innovación en esquemas de financiamiento que articulen recursos públicos, privados, cooperación internacional y mecanismos de financiamiento innovadores.

Propuesta específica: crear el Fondo nacional de transformación educativa digital con estructura de financiamiento mixta: 1) recursos públicos mediante incremento progresivo de inversión educativa nacional, partiendo de 0,3 % PIB en año uno y escalando a 0,5 % PIB en año cinco; 2) alianzas estratégicas con sector privado tecnológico mediante modelo de responsabilidad social empresarial donde empresas de tecnología aportan soluciones, capacitación y recursos técnicos a cambio de beneficios tributarios y desarrollo de mercado futuro; 3) cooperación internacional mediante articulación con organismos multilaterales (BID, Banco Mundial, UNESCO) y gobiernos que priorizan desarrollo educativo en sus agendas de cooperación; 4) mecanismos innovadores como bonos de impacto social educativo donde inversionistas privados financian intervenciones educativas y reciben retornos condicionados a logro de metas medibles de mejora educativa.

## Conclusiones: hacia un nuevo paradigma de desarrollo nacional potenciado por IA educativa

El análisis presentado establece relaciones causales robustas entre la integración sistemática de inteligencia artificial en procesos educativos y mejoras mensurables en dimensiones constitutivas del desarrollo nacional colombiano. La evidencia empírica derivada de experiencias internacionales y proyecciones fundamentadas en modelos teóricos del desarrollo humano permite afirmar que la IA educativa no es una mera herramienta tecnológica adicional, sino un catalizador potencial de transformación educativa con efectos multiplicadores sobre desarrollo económico, equidad social y capacidades humanas.

La relación causal identificada opera mediante tres mecanismos complementarios validados empíricamente: personalización del aprendizaje que permite atender diversidad estudiantil a escala; democratización del acceso que reduce brechas territoriales y socioeconómicas mediante escalabilidad de mejores prácticas pedagógicas; y eficiencia en gestión educativa que libera recursos humanos y financieros para actividades de mayor valor agregado pedagógico. Estos mecanismos, cuando se implementan sistémicamente y no de manera fragmentada, generan efectos sinérgicos que pueden incrementar sustancialmente la efectividad de inversiones educativas.

Las proyecciones cuantitativas presentadas sugieren que Colombia puede acelerar significativamente su convergencia hacia estándares internacionales de calidad educativa y desarrollo humano mediante integración estratégica de IA. Un escenario de integración avanzada implementado sostenidamente durante quince años podría cerrar aproximadamente 65-70 % de la brecha actual con el promedio OCDE en rendimiento académico, reducir en 35-40 % las inequidades territoriales en dimensión educativa del IDH e impulsar el IDH nacional hacia umbrales de muy alto desarrollo humano. Estos efectos, aunque ambiciosos, son consistentes con trayectorias observadas en sistemas educativos que han integrado sistemáticamente estas tecnologías.

No obstante, la materialización de este potencial transformador está condicionada críticamente a variables moderadoras que constituyen simultáneamente condiciones habilitantes y riesgos potenciales. La infraestructura digital, las competencias docentes, los marcos normativos éticos, la inversión pública sostenida y la articulación intersectorial efectiva no son complementos opcionales sino

requisitos constitutivos de una implementación exitosa. La ausencia de cualquiera de estos elementos puede no solo anular efectos positivos proyectados, sino generar consecuencias adversas como amplificación de inequidades existentes, dependencia tecnológica sin desarrollo de capacidades endógenas y desplazamiento de pedagogías efectivas por soluciones tecnológicas inadecuadamente diseñadas o implementadas. A partir de este análisis integral, se presentan las siguientes recomendaciones estratégicas:

## Validación de los mecanismos causales de potenciación educativa mediante IA

La relación causal identificada opera mediante tres mecanismos complementarios validados empíricamente: personalización del aprendizaje que permite atender diversidad estudiantil a escala, democratización del acceso que reduce brechas territoriales y socioeconómicas mediante escalabilidad de mejores prácticas pedagógicas, y eficiencia en gestión educativa que libera recursos humanos y financieros para actividades de mayor valor agregado pedagógico.

## Viabilidad de convergencia acelerada hacia estándares internacionales

Las proyecciones cuantitativas presentadas demuestran que Colombia puede acelerar significativamente su convergencia hacia estándares internacionales de calidad educativa y desarrollo humano mediante integración estratégica de IA. Un escenario de integración avanzada implementado sostenidamente durante quince años podría cerrar aproximadamente 65-70 % de la brecha actual con el promedio OCDE en rendimiento académico, reducir en 35-40 % las inequidades territoriales en dimensión educativa del IDH e impulsar el IDH nacional de 0,758 hacia umbrales de muy alto desarrollo humano ( $\geq 0,800$ ).

## Condiciones habilitantes críticas para la implementación exitosa

La materialización del potencial transformador está condicionada críticamente a variables moderadoras que constituyen simultáneamente condiciones habilitantes y riesgos potenciales. La infraestructura digital, las competencias docentes, los marcos normativos éticos, la inversión pública sostenida y la articulación intersectorial efectiva no son complementos opcionales sino requisitos constitutivos de una implementación exitosa.

## Necesidad imperiosa de un Observatorio ético y de impacto de la IA en educación

En respuesta a los desafíos éticos identificados en la implementación de IA en educación, se concluye que es indispensable la creación de un Observatorio ético y de impacto de la IA en educación, concebido como espacio independiente y multisectorial dedicado al monitoreo, análisis y orientación de prácticas asociadas a la IA en el ámbito académico.

## Imperativo de contextualización y adaptación territorial de soluciones de IA

Se concluye que las soluciones de IA educativa deben ser contextualizadas y sostenibles, respondiendo a realidades locales y regionales del sistema educativo colombiano. Esto implica reconocer la diversidad de contextos socioeconómicos, culturales y geográficos del país, y diseñar estrategias que promuevan desarrollo equitativo sin caer en soluciones genéricas o importadas sin adaptación.

## Equidad como principio rector de la transformación digital educativa

La incorporación de IA no debe agravar las brechas existentes sino contribuir activamente a cerrarlas. Para ello, es crucial fomentar una educación inclusiva que tenga en cuenta necesidades específicas de cada estudiante, favoreciendo un aprendizaje autónomo, profundo y consciente. El fortalecimiento del rol del docente como mediador entre la tecnología y las trayectorias cognitivas de los estudiantes resulta fundamental, requiriendo programas sistemáticos de formación continua como la Red nacional de mentoría docente en IA propuesta. Se requiere transformación profunda de estrategias pedagógicas y compromiso activo de la comunidad educativa para formar ciudadanos con pensamiento crítico, creatividad, autonomía e imaginación, competencias clave para enfrentar desafíos del desarrollo económico, cultural y social de Colombia. La IA debe potenciar estas competencias superiores, no sustituirlas ni atrofiarlas mediante dependencia tecnológica.

## Necesidad de alianzas estratégicas multisectoriales y convergencia de ciencias básicas

Es relevante a nivel estratégico confluir diversas ciencias básicas, generando alianzas estratégicas a nivel nacional con universidades y entidades que aporten en la disminución de brechas en el ámbito de ciencias posmodernas.

## La IA como oportunidad histórica condicionada a voluntad colectiva y visión de largo plazo

En síntesis, la inteligencia artificial configura una oportunidad histórica para que Colombia acelere su trayectoria de desarrollo nacional mediante transformación educativa. La evidencia presentada demuestra que mayor integración de IA genera mayor calidad educativa, que a su vez produce mayor desarrollo humano medido multidimensionalmente. Esta relación incremental y causal, moderada por condiciones contextuales específicas, puede ser deliberadamente potenciada mediante políticas públicas estratégicas que inviertan sostenidamente en infraestructura digital, formación docente, innovación pedagógica, marcos normativos habilitantes y financiamiento adecuado. El desafío que enfrenta Colombia no es tecnológico sino de voluntad colectiva, visión de largo plazo y compromiso con una educación de calidad y equidad como fundamento irrenunciable de su desarrollo sostenible. La implementación requiere voluntad política sostenida que trascienda ciclos electorales, articulación intersectorial efectiva y compromiso de toda la sociedad colombiana con esta transformación estructural.

Estas conclusiones constituyen un marco comprehensivo que sintetiza los hallazgos principales del análisis realizado, identifica los mecanismos causales operantes, establece proyecciones cuantitativas fundamentadas, señala condiciones habilitantes críticas, propone iniciativas estratégicas concretas y advierte sobre riesgos y desafíos que deben ser proactivamente gestionados. Su implementación articulada y sostenida puede posicionar a Colombia en una trayectoria acelerada de desarrollo humano, reduciendo significativamente brechas históricas de inequidad y construyendo un sistema educativo de calidad mundial que prepare a las nuevas generaciones para los desafíos del siglo XXI.

## Referencias

- AI Index Stanford. (2023). *Artificial Intelligence Index Report 2023*. Stanford University. [https://hai.stanford.edu/sites/default/files/ai\\_index\\_2023\\_report.pdf](https://hai.stanford.edu/sites/default/files/ai_index_2023_report.pdf)
- Alvarado, L. (2023, 24 de agosto). *Herramientas de inteligencia artificial para estudiantes*. Politécnico Grancolombiano. <https://www.poli.edu.co/blog/poliverso/herramientas-inteligencia-artificial-para-estudiantes>
- Aparicio Gómez, W. O. (2023). La inteligencia artificial y su incidencia en la educación: transformando el aprendizaje para el siglo XXI. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 3(2), 217-229. <https://doi.org/10.51660/ripie.v3i2.133>

- AulaPro. (2023, 15 de marzo). *Cómo la inteligencia artificial en la educación está transformando el aprendizaje*. AulaPro.co. <https://aulapro.co/revisiones/como-la-inteligencia-artificial-en-la-educacion-esta-transformando-el-aprendizaje/>
- Ayala-Pazmiño, M. (2023). Inteligencia artificial en la educación: explorando los beneficios y riesgos potenciales. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(3), 892-899. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.3.1827>
- Baker, R. S., & Hawn, A. (2021). Algorithmic bias in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, (32), 1052-1092. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00285-9>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *La inteligencia artificial al servicio del bien social en América Latina y el Caribe: panorámica regional e instantáneas de doce países*. Iniciativa fAIr LAC; C Minds.
- Bernal-Guerrero, A., & Cárdenas-Gutiérrez, A. R. (2021). La educación de la competencia emprendedora como iniciativa y autonomía personal. *Cuestiones Pedagógicas. Revista de Ciencias de la Educación*, 2(30), 27-42. <https://revistascientificas.us.es/>
- Bonilla Marín, A., & Márquez Díaz, J. E. (2021). *Inteligencia artificial generativa (IAG) en la educación matemática*. Universidad de Cundinamarca. <https://doi.org/10.26507/paper.3672>
- Cabrera, J. (2023). Implementación de inteligencia artificial en Colombia: oportunidades y desafíos para el desarrollo sostenible. *Revista Colombiana de Innovación y Tecnología*, 15(2), 45-62.
- Castrillón, O. D., Sarache, W., & Ruiz-Herrera, S. (2020). Predicción del rendimiento académico por medio de técnicas de inteligencia artificial. *Formación Universitaria*, 13(1), 93-102. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000100093>
- CEPAL. (2025). *IA en América Latina y el Caribe: retos, estrategias y gobernanza para el desarrollo de la región*. <https://www.cepal.org/es/eventos/conferencia-ia-america-latina-caribe-retos-estrategias-gobernanza-desarrollo-la-region>
- Chuñir Panjon, J. (2025). Competencias específicas para la integración de la inteligencia artificial en la planificación docente. *Mamakuna*, (24), 80-92. <https://doi.org/10.70141/mamakuna.24.1050>
- Colombia Aprende. (s.f.). *Aplicaciones de la inteligencia artificial en la educación*. Ministerio de Educación Nacional. <https://www.colombiaaprende.edu.co/agenda/tips-y-orientaciones/aplicaciones-de-la-inteligencia-artificial-en-la-educacion>
- Columnavip.com. (2024, 25 de agosto). *Medellín acoge de nuevo el Centro para la 4a Revolución Industrial*. <https://columnavip.com/2024/08/medellin-acoge-de-nuevo-el-centro-para-la-4a-revolucion-industrial/>
- Comisión Europea. (2023a). *Artificial intelligence in education: Opportunities and challenges*. Publications Office of the European Union.
- Comisión Europea. (2023b). *Qué es la inteligencia artificial*. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-inteligencia-artificial-ia-prtr>

- DANE. (2023). *Encuesta de Calidad de Vida (ECV) 2023*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/>
- De la Roche, M. M., Estupiñán, A. M. V., & Pulido, M. A. (2021). Características e importancia de la metodología cualitativa en la investigación científica. *Revista Semillas del Saber*, 1(1), 18-27. <https://unicatolica.edu.co/>
- Debate y Convergencia. (2025). *Inteligencia artificial en la era de la posmodernidad: transformando la investigación, el aprendizaje y el debate sobre el conocimiento*. <https://debatyconvergencia.com.ar/inteligencia-artificial-en-la-era-de-la-posmodernidad-transformando-la-investigacion-el-aprendizaje-y-el-debate-sobre-el-conocimiento>
- Decreto 277 de 2025. Por medio del cual se modifican los artículos 2.4.3.1.2., 2.4.3.2.1. y 2.4.3.3.3 del Decreto número 1075 de 2015 —Único Reglamentario del Sector Educación—. Marzo 13 de 2025. DO. N.º 53.057.
- Del Cisne Loján, M., Antonio Romero, J., Sancho Aguilera, D., & Yajaira Romero, A. (2024). Consecuencias de la dependencia de la inteligencia artificial en habilidades críticas y aprendizaje autónomo en los estudiantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 2368-2382. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10678](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10678)
- CONPES 3975. (2019, 8 de noviembre). Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación.
- CONPES 4144. (2025). Política nacional de inteligencia artificial. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4144.pdf>
- Díaz, R. R. G., Duque, Á. E. A., Gómez, S. L. G., & Ayala, K. C. (2021). Ruta de investigación cualitativa—naturalista: una alternativa para estudios gerenciales. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(4), 334-350. <https://unirioja.es/>
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162-167. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72706-6](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72706-6)
- EAFIT. (s.f.). *Plan de Desarrollo Institucional: itinerario EAFIT 2030*. <https://www.eafit.edu.co/itinerario-eafit-2030>
- Ekora. (2024, 22 de abril). *Revolución educativa: inteligencia artificial y automatización en la educación colombiana*. <https://ekora.com.co/revolucion-educativa-inteligencia-artificial-y-automatizacion-en-la-educacion-colombiana/>
- Enunciación. (2024). Inteligencia artificial (IA) en las escuelas: una revisión sistemática (2023-2023). *Enunciación*, 29(1). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-63392024000100062&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-63392024000100062&script=sci_arttext)
- Estrada Tangarife, L. E. (s.f.). *El impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza de las matemáticas en la educación básica secundaria: una revisión crítica*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/>

- Fernández Jiménez López, A. (2021). *Explorando el impacto de la inteligencia artificial en la formación de ingeniería electrónica*. Universidad de los Llanos. <https://doi.org/10.26507/paper.3840>
- Figuroa Cahnspeyer, M. (2024). Educación en la era de la inteligencia artificial. *Revista Contacto Maestro*. <https://marymountbogota.edu.co/revista-contacto-maestro/educacion-en-la-era-de-la-inteligencia-artificial/>
- Flores-Vivar, J. M., & García-Peñalvo, F. J. (2023). Reflexiones sobre la ética, potencialidades y retos de la inteligencia artificial en el marco de la Educación de Calidad (ODS 4). *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 31(74), 37-47. <https://doi.org/10.3916/C74-2023-03>
- Gallent Torres, C., Zapata González, A., & Ortego Hernando, J. L. (2023). El impacto de la inteligencia artificial generativa en educación superior: una mirada desde la ética y la integridad académica. *RELIEVE - Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 29(2), 1-21. <https://doi.org/10.30827/relieve.v29i2.29134>
- García-Peñalvo, F. J., Llorens-Largo, F., & Vidal, J. (2024). La nueva realidad de la educación ante los avances de la inteligencia artificial generativa. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1), 9-39. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37716>
- Gobierno Nacional de Colombia, Misión de Expertos en IA. (2021-2022). *Informe de la misión de expertos en inteligencia artificial*.
- González-González, C. S. (2023). El impacto de la inteligencia artificial en la educación: transformación de la forma de enseñar y de aprender. *Curriculum. Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa*, (36), 51-60. <https://doi.org/10.25145/j.curricul.2023.36.03>
- Granda Dávila, A. I., Muncha Cofre, M. E., Guamanquispe Rosero, J. M., & Jácome Noroña, G. F. (2023a). Inteligencia artificial: el futuro de la educación. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2676>
- Granda Dávila, A. I., Muncha Cofre, M. E., Guamanquispe Rosero, J. M., & Jácome Noroña, G. F. (2023b). Metodología colaborativa con inteligencia artificial para elevar la recepción cognitiva. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(3), 897-918.
- Guamán-Gómez, V. J., Espinoza-Freire, E., & Granda-Aybaca, G. (2023). Gobernanza y retos de la inteligencia artificial en el derecho a la educación: el rol del docente en la era digital. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/journal/6558/655880704018/>
- Guamán-Gómez, V. J., Villareal-Villa, S., & Cedeño-Romero, E. L. (2023). El uso de la inteligencia artificial en el proceso educativo. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 8(2), 109-131. <https://doi.org/10.33262/rmc.v8i2.2890>
- Guerrero-Bayona, A. M., & Verjel-Clavijo, G. A. (2025). *Metaverso: desafíos y estrategias para la adopción de medios de pago digitales*. Revista Universidad Francisco de Paula Santander. <https://ufps.edu.co/>
- Guzmán, T., & Escudero, A. (2016). Implementación del sistema multimodal de educación de la Universidad Autónoma de Querétaro, México. *Revista de Educación Mediática y TIC*, 5(2), 7-28.

- Hankins, E. F. (2023). *Government AI readiness index 2023*. Oxford Insights. <https://oxfordinsights.com/ai-readiness/ai-readiness-index/>
- Hurtado, J., & Bravo Sánchez, F. A. (2021). *Impacto de los chatbots de IA en la enseñanza de programación*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://doi.org/10.26507/paper.3720>
- INCIBE. (2023). *Inteligencia artificial aplicada a la educación*. Instituto Nacional de Ciberseguridad. <https://www.incibe.es/>
- Institute for Strategic Studies. (2018). Big data, artificial intelligence and defence. *The Military Balance 2018*, 10-13.
- Jiménez-García, E., Ruiz-Lázaro, J., Martínez-Requejo, S., & Redondo-Duarte, S. (2025). Inteligencia artificial y chatbots para una educación superior sostenible: una revisión sistemática. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 28(2), 159-179. <https://doi.org/10.5944/ried.28.2.43240>
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>
- Kroff, F., Coria, D., & Ferrada, C. (2025). Inteligencia artificial en la educación universitaria: innovaciones, desafíos y oportunidades. *Revista Espacios*, 45(5), 120-134. <https://doi.org/10.48082/espacios-a24v45n05p09>
- Laboratorio de Economía de la Educación. (2024). *Informe análisis estadístico LEE n.º 113: tecnologías de la información en las aulas colombianas*. Universidad Javeriana. <https://www.javeriana.edu.co/>
- Laverde González, J. S., & Rodríguez Hernández, L. A. (2024). AI and education: combination to enhance knowledge. *Deleted Journal*, (4), 37. <https://doi.org/10.56294/mw202537>
- Lopezosa, C. (2023). La inteligencia artificial generativa en la comunicación científica: retos y oportunidades. *Revista de Investigación e Innovación en Ciencias de la Salud*, 5(1), 1-5. <https://doi.org/10.46634/riics.211>
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). *A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence*. Dartmouth College.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2024, 12 de febrero). *Colombia ya cuenta con una hoja de ruta en inteligencia artificial*. [https://minciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/colombia-ya-cuenta-con-una-hoja-ruta-en-inteligencia-artificial](https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-ya-cuenta-con-una-hoja-ruta-en-inteligencia-artificial)
- Ministerio de Defensa de España. (2023). *La inteligencia artificial aplicada a la defensa*. IEEE.
- Ministerio de Educación Nacional. (2023a). *Plan estratégico institucional 2025*. [https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-423383\\_recurso\\_01.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-423383_recurso_01.pdf)
- Ministerio de Educación Nacional. (2023b). *Plan nacional decenal de educación 2016-2026: el camino hacia la calidad y la equidad*. Ministerio de Educación Nacional de Colombia.

- Ministerio de Educación Nacional. (2025, 20 de marzo). *Aluna 1.0: la apuesta de UniMagdalena y el Gobierno del Cambio para liderar la educación en inteligencia artificial en la región Caribe*. <https://www.mineducacion.gov.co/portal/salaprensa/Comunicados/423861>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2018). *Colombia redujo su brecha digital en educación en 83 %*. <https://www.MinTIC.gov.co/>
- Miron, M. (2023). La guerra irregular, insurgencias y cómo contrarrestarlas. *Revista Científica General José María Córdova*, 17(27), 457-480. <https://doi.org/10.21830/19006586.497>
- Morán-Ortega, S. A., Ruiz-Tirado, S. G., Simental-López, L. M., & Tirado-López, A. B. (2024). Barreras de la inteligencia artificial generativa en estudiantes de educación superior: percepción docente. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, 12(25), 26-37. <https://doi.org/10.36825/RITI.12.25.003>
- Navarro, J. R. S., Pérez, Y. S., Bravo, D. D. P., & Núñez, M. D. J. C. (2023). Incidencias de la inteligencia artificial en la educación contemporánea. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, (77), 97-107. <https://unirioja.es/>
- Núñez Michuy, C. M., Velasco Velasco, J. P., Carrasco Guamán, B. A., & Guambuquete Quinatoa, J. M. (2023, 20 de diciembre). Inteligencia artificial en la educación: perspectivas actuales. *Magazine de las Ciencias*. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/3055>
- OCDE. (2022). *PISA 2022 results: Programme for international student assessment*. Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/pisa/>
- Palacios, C. A., Reyes-Suárez, J. A., Bearzotti, L. A., Leiva, V., & Marchant, C. (2021). Knowledge discovery for higher education student retention based on data mining: machine learning algorithms and case study in Chile. *Entropy*, 23(4), 485. <https://doi.org/10.3390/e23040485>
- Parra-Taboada, M. E., Trujillo-Arteaga, J. C., Álvarez-Abad, D. R., Arias-Domínguez, A. S., & Santillán-Gordón, E. (2024). *El impacto de la inteligencia artificial en la educación*. *Revista de Educación y Tecnología*.
- Peñaloza, J. D. J. M., Mena, Y. C., & Roperio, L. M. (2024). La gamificación y las TIC para la resignificación de las prácticas docente. En *Explorando horizontes educativos: desafíos y oportunidades en la era tecnológica y social* (pp. 11-18). Dykinson.
- PNUD. (2024). *Informe nacional de desarrollo humano 2024: Colombia: territorios entre fracturas y oportunidades*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org/es/colombia/>
- ProFuturo. (2025). *ProFuturo en Colombia: ¿Puede la educación digital cerrar la brecha de aprendizaje?* <https://profuturo.education/>
- Quacquarelli Symonds. (2023). *QS world university rankings 2023*. <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2023>
- Rodríguez-García, J. D., Moreno-León, J., Román-González, M., & Robles, G. (2021). Programar para aprender en educación primaria: análisis del pensamiento computacional

- al en la resolución de problemas. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 21(65), 1-22. <https://doi.org/10.6018/red.449221>
- Ruiz-Rojas, L. I., Acosta-Vargas, P., De-Moreta-Llovet, J., & Gonzalez-Rodriguez, M. (2023). Empowering education with generative artificial intelligence tools: approach with an instructional design matrix. *Sustainability*, 15(15), 11524. <https://doi.org/10.3390/su151511524>
- Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence applications in Latin American higher education: a systematic review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w>
- Sánchez-Prieto, J. C., Izquierdo-Álvarez, V., del Moral-Marcos, M. T., & Martínez-Abad, F. (2025). Inteligencia artificial generativa para autoaprendizaje en educación superior: diseño y validación de una máquina de ejemplos. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 28(1), 59-81. <https://doi.org/10.5944/ried.28.1.41548>
- Sánchez Uriza, E. J. (2021). *Empoderamiento de herramientas de inteligencia artificial en la enseñanza: Al code generador para controladores lógicos programables*. Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. <https://doi.org/10.26507/paper.3786>
- SENA. (s.f.). *Misión y visión SENA*. <https://www.sena.edu.co/es-co/sena/Paginas/mision-Vision.aspx>
- Siemens, G., & Gasevic, D. (2017). Guest editorial: Learning analytics, ethics and error. *British Journal of Educational Technology*, 48(6), 1239-1243.
- Suárez Gómez, J. (2023). Inteligencia artificial en la educación: perspectivas contemporáneas. *Fedumar*. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/fedumar/article/view/3693/4054>
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1986). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós.
- Toledo Hernández, R. A., Gamboa Castro, B. Y., & Pineda Cadena, E. (2021). Construcción de robot educativo utilizando visión artificial y sensores de proximidad. *RECIBE Revista Electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.26507/paper.3755>
- Torre, A., & Baldeon-Calisto, M. (2024). Generative artificial intelligence in Latin American higher education: a systematic literature review. En *2024 IEEE International Symposium on Digital Forensics and Security* (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/isdfs60797.2024.10527283>
- Torres, Á. F. R., Alarcón, K. E. O., Gaibor, J. A. G., Bermeo, S. D. R., & Castro, H. A. B. (2023). La implementación de la inteligencia artificial en la educación: análisis sistemático. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), 2162-2178.
- UNESCO. (2021). *Inteligencia artificial y educación: guía para las personas a cargo de formular políticas*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379376>

- UNESCO. (2023). *Orientación para la IA generativa en educación e investigación*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389227>
- UNESCO. (2024). *Inteligencia artificial en educación: compendio de recursos*. UNESCO Publishing. <https://www.unesco.org/es/digital-education/ai-future-learning>
- Universidad Industrial de Santander. (2021). *GPTE3T: integrando la inteligencia artificial para optimizar el sistema de mediciones de resultados de aprendizaje en la E3T*. <https://doi.org/10.26507/paper.3817>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. En *Advances in Neural Information Processing Systems 30* (pp. 5998-6008). Curran Associates, Inc.
- Vera, F. (2023). Integración de la inteligencia artificial en la educación superior: desafíos y oportunidades. *Transformar*, 4(1), 17-34. <https://revistatransformar.cl/index.php/transformar/article/view/84>
- Villamil Cavagnaro, C. J., Rodríguez Cavagnaro, J. R., Flores Beltrán, P. K., Suarez Mendoza, J. G., & Cedeño Salazar, P. A. (2024). La revolución de la inteligencia artificial en la educación superior: impacto, beneficios y desafíos. *Arandu UTIC*, 11(1), 327-339. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.218>
- Villegas, A. (2024, 7 de abril). *Sesgos algorítmicos y discriminación de la inteligencia artificial y formas educativas de abordarlo*. AVD Aprendizaje Digital. <https://adrianvillegasd.com/sesgos-algoritmicos-y-discriminación-de-la-inteligencia-artificial-y-formas-educativas-de-abordarlo/>
- Yepes, J. C. (2021, 22 de julio). *SENA y Huawei inauguraron laboratorio de inteligencia artificial*. Portafolio. <https://blogs.portafolio.co/negocios-e-inspiración/sena-huawei-inauguraron-laboratorio-inteligencia-artificial/>
- Zambrano, R. M. F., Álvarez, R. A. G., Bustamante, J. B. P., & Mosquera, I. V. P. (2024). Hacia una educación inteligente: IA y transformación pedagógica. *Polo del Conocimiento*, 9(6), 1074-1085. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7373>



## Capítulo 5

# La inteligencia artificial como motor de cambio en la productividad y el desarrollo humano en Colombia\*

---

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606.05>

**María Andrea Giraldo Leal**  
**Milena Elizabeth Realpe Díaz**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

**Resumen:** Este capítulo analiza la inteligencia artificial como motor estratégico para el desarrollo y la productividad en Colombia. Desde el paradigma constructivista, se examina cómo la IA optimiza procesos en sectores clave como salud, educación y finanzas, permitiendo una mejora sustancial en la eficiencia operativa. El estudio identifica barreras críticas, especialmente la brecha digital y la falta de infraestructura tecnológica en zonas rurales, que amenazan con profundizar las desigualdades sociales. Los hallazgos demuestran una interdependencia fundamental entre productividad y desarrollo humano: la IA no debe limitarse a la automatización económica, sino orientarse hacia la inclusión y la expansión de capacidades ciudadanas. Se concluye con una propuesta operativa por fases para una adopción competitiva, enfatizando que el éxito de esta transformación depende de marcos regulatorios éticos, inversión en talento humano y alianzas público-privadas sostenibles.

**Palabras clave:** brecha digital; desarrollo; inteligencia artificial; marco normativo; progreso

---

\* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "La gobernanza del ciberespacio: desafíos y oportunidades en procura de la autonomía y el control digital", del grupo de investigación "Ciberespacio, Tecnología e Innovación" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en C por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0181179. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen al autor y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

## María Andrea Giraldo Leal

Experta en inteligencia artificial, ciberseguridad y transformación digital, con énfasis en política pública y gobernanza tecnológica. Ha liderado iniciativas en el MinTIC de Colombia y proyectos intersectoriales, promoviendo la adopción ética y sostenible de tecnologías emergentes. Investigadora vinculada a la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto".

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-3418-8529> - Contacto: [maria.giraldo@esdeg.edu.co](mailto:maria.giraldo@esdeg.edu.co)

## Milena Elizabeth Realpe Díaz

Coronel del Ejército Nacional de Colombia. Doctoranda en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa, y magíster en Ciberseguridad y Ciberdefensa, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia. Magíster en Seguridad de la Información, Universidad de los Andes, Colombia. Especialista en Seguridad de Redes de Computadores, Universidad Católica de Colombia. Especialista en Seguridad Física y de la Informática, Escuela de Comunicaciones del Ejército, Colombia. Especialista en Seguridad de la Información, Universidad de los Andes. Ingeniera de sistemas, Universidad Cooperativa de Colombia. Jefe de la Maestría en Ciberseguridad y Ciberdefensa, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia.

**Citación APA:** Giraldo Leal, M. A. & Realpe Díaz, M. E. (2026). La inteligencia artificial como motor de cambio en la productividad y el desarrollo humano en Colombia. En M. E. Realpe Díaz & G. A. Gómez Rodríguez (Eds.), *Colombia inteligente. Inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo* (pp. 183-215). Sello Editorial ESDEG.

<https://doi.org/10.25062/9786287818606.05>

## COLOMBIA INTELIGENTE. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS PARA UN NUEVO MODELO DE DESARROLLO

ISBN impreso: 978-628-7818-55-2

ISBN digital: 978-628-7818-60-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818606>

### Colección Ciberseguridad y Ciberdefensa

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2026



## Introducción

En la actualidad, la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en un factor disruptivo para dinamizar el crecimiento económico y fortalecer la competitividad en un entorno global cada vez más exigente (OECD, 2023). Colombia, pese a poseer un potencial importante en materia de recursos humanos y capacidad creativa, se enfrenta a notables desafíos para incorporar las tecnologías de IA de manera eficiente y sostenible (Hidalgo, 1996). Dado este panorama, el país corre el riesgo de rezagarse frente a naciones que ya perciben la IA como piedra angular de su progreso económico y social (Acemoglu & Robinson, 2012).

La brecha tecnológica existente impide aprovechar plenamente la IA en sectores clave, tales como la educación, la salud y las finanzas (Bermúdez, 2018). Este rezago no solo responde a factores de infraestructura y a la falta de regulación, sino también a la escasez de políticas públicas orientadas a promover la investigación y la formación de profesionales especializados (Galiana et al., 2024). Así, las instituciones —tanto del ámbito público como privado— enfrentan el reto de diseñar estrategias de adopción que atiendan las particularidades del mercado local y que, a su vez, fomenten la inclusión y el desarrollo humano (De la Cruz et al., 2023).

El objetivo fundamental de este estudio consiste en analizar la relación entre la implementación de la IA y el incremento de la productividad, con miras a evidenciar cómo este salto tecnológico puede propiciar mayores niveles de desarrollo social y progreso. Para ello, se adopta el paradigma constructivista como marco de referencia, abordando el fenómeno desde una metodología cualitativa que privilegia la interpretación y la construcción de significados en torno a la IA (Hernández et al., 2022; Creswell, 2014). Esta aproximación permite captar de manera profunda las motivaciones, resistencias y expectativas que surgen alrededor de la incorporación de la IA en diversos sectores de la economía y la sociedad. Además, posibilita

reconocer la diversidad de realidades regionales y culturales que inciden en la formulación de políticas y en la búsqueda de soluciones contextualmente relevantes.

La estructura de la investigación se articula en cuatro ejes temáticos: en primer lugar, se describirá cómo funciona la IA y por qué representa un catalizador esencial de cambio y progreso. A continuación, se revisarán los conceptos de productividad, desarrollo humano y progreso, enfatizando su interdependencia. El tercer eje se enfocará en la IA en acción, examinando su potencial para aumentar la productividad en Colombia. Finalmente, se explorará la relación entre IA, desarrollo humano y progreso, abordando implicaciones éticas y políticas que deben considerarse para evitar la exclusión y promover la equidad (Minsky & Papert, 1969; World Economic Forum, 2023). A partir de estos análisis, se espera aportar hallazgos que orienten estrategias de adopción efectivas, para luego culminar con las conclusiones que dan respuesta a la cuestión planteada.

En suma, y es esta la tesis por constatar: la IA se perfila no solo como una herramienta de automatización, sino como un recurso estratégico capaz de impulsar el crecimiento económico y la cohesión social. Sin embargo, su implementación exige superar obstáculos vinculados a la formación de talento, la disposición de infraestructura y la armonización normativa (Giraldo Leal, 2025). Con políticas de Estado claras, alianzas interinstitucionales y una visión de largo plazo, la IA podría afianzar su posición como motor de transformación, situando a Colombia en un sendero de desarrollo sostenible y equitativo (OECD, 2023; Acemoglu & Robinson, 2012).

El marco teórico se fundamenta en la teoría de la vida artificial, impulsada por los trabajos de Christopher Langton (Langton, 1989) y por la implementación del juego de la vida de John Conway (Gardner, 1970). Dichos aportes proporcionaron un marco conceptual para comprender cómo patrones complejos pueden emerger a partir de reglas simples. A través de la simulación de procesos evolutivos y la observación de comportamientos emergentes, se demostró que sistemas computacionales relativamente básicos podían exhibir propiedades de autoorganización y adaptabilidad, comparables a las de los seres vivos. Este enfoque teórico impulsó nuevas líneas de investigación en inteligencia artificial, favoreciendo el desarrollo de autómatas celulares, algoritmos genéticos y redes neuronales, y acelerando su evolución al emular principios biológicos para abordar problemas cada vez más complejos (Mitchell, 1996; Langton, 1995). Finalmente, el trabajo busca responder la ¿Cómo la inteligencia artificial genera un motor de cambio en Colombia? Con un objetivo general: analizar el impacto de la inteligencia artificial en sectores clave de

la sociedad, considerando su conceptualización por diversos actores, los desafíos políticos y normativos asociados, con el fin de proponer lineamientos que promuevan una adopción equitativa y competitiva de esta tecnología.

## Diseño metodológico

### Enfoque de investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cualitativo, con un diseño descriptivo-interpretativo coherente con el paradigma constructivista, asumiendo que la realidad se construye socialmente y que el conocimiento emerge de la interacción entre participantes y contexto (Hernández et al., 2022). El objetivo es comprender la adopción de la IA en Colombia y su incidencia en la productividad y el desarrollo social, atendiendo las motivaciones y resistencias que acompañan este proceso (Creswell, 2014).

### Objetivos metodológicos

- Explorar experiencias de implementación de la IA en sectores clave (educación, salud y finanzas) y su efecto en la productividad.
- Describir la conceptualización de la IA por parte de actores gubernamentales, privados y académicos.
- Examinar los desafíos políticos y normativos que condicionan la inclusión y equidad en la adopción de IA.
- Generar lineamientos que fortalezcan la competitividad y la cohesión social.

### Análisis documental

Para complementar la comprensión cualitativa, se revisarán fuentes secundarias (documentos institucionales, literatura especializada e informes de organizaciones internacionales) enfocadas en la adopción de IA y su relación con la productividad en el país (Bermúdez, 2018; Hidalgo, 1996). Se procederá a clasificar los materiales según políticas, regulación y enfoques de IA aplicados en Colombia; se utilizará una matriz de extracción para sintetizar objetivos, hallazgos y limitaciones de cada fuente; y finalmente se contrastarán las políticas oficiales y la literatura con la información empírica para identificar brechas y convergencias (OECD, 2023).

## Interpretación constructivista

Desde el paradigma constructivista, se asume que los significados emergen de las interacciones sociales (Denzin & Lincoln, 2018). Se abordará la relación entre la IA y la productividad a partir del examen de dinámicas de poder, el reconocimiento de la diversidad de contextos y la proyección de hallazgos, generando recomendaciones que promuevan el crecimiento económico e inclusión social sin descuidar aspectos éticos y normativos (Acemoglu & Robinson, 2012).

## Integración de resultados y utilidad

La información obtenida y analizada permitirá delinear propuestas ajustadas a la realidad nacional. Se priorizarán factores como: infraestructura, formación de talento y armonización normativa para aprovechar plenamente la IA como motor de transformación social y económica (Giraldo Leal, 2025; De la Cruz et al., 2023). De este modo, se espera aportar una visión comprehensiva sobre cómo la IA puede impulsar la competitividad y la cohesión social, equilibrando oportunidades e implicaciones políticas y éticas.

## Implementación de la IA en educación, salud y finanzas. Efecto en la productividad

La inteligencia artificial se entiende de diferentes maneras a lo largo del tiempo, desde una disciplina científica y tecnológica (Hidalgo, 1996) hasta una herramienta aplicada en sectores como el *marketing* y la educación (De la Cruz et al., 2023). Se observa un desarrollo progresivo desde sus fundamentos teóricos hasta aplicaciones concretas en distintos ámbitos. También se señala su relación con modelos mentales y biológicos (Herrera, 2007) y su impacto en la brecha digital (Bermúdez, 2018).

La IA ha tenido efectos en la educación, el *marketing*, la economía y la ética. Mientras que algunos autores destacan su capacidad para optimizar procesos, otros advierten sobre la necesidad de una regulación ética (Galiana et al., 2024). La Tabla 1 presenta una línea de tiempo de la evolución de la IA en el mundo.

La IA ha experimentado un desarrollo acelerado desde sus inicios en los años cincuenta, evolucionando desde conceptos teóricos hasta convertirse en una herramienta esencial en múltiples campos, incluyendo la seguridad. Su avance ha estado marcado por hitos clave que han redefinido su impacto en la sociedad.

**Tabla 1.** Evolución de la inteligencia artificial en el mundo

| Año  | Evento Clave                          | Descripción                                                                                                                     | Fuente                                                                   |
|------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1950 | Test de Turing                        | Alan Turing propuso el test para evaluar la inteligencia de una máquina.                                                        | (Turing, 1950).                                                          |
| 1956 | Nacimiento oficial de la IA           | John McCarthy y otros científicos organizaron la Conferencia de Dartmouth, donde se acuñó el término "inteligencia artificial". | (J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, & C.E. Shannon, 1955).         |
| 1966 | Primer chatbot (ELIZA)                | Joseph Weizenbaum creó ELIZA, un programa de procesamiento de lenguaje natural.                                                 | (Weizenbaum, 1966)                                                       |
| 1980 | Auge de los sistemas expertos         | Desarrollo de sistemas basados en reglas que imitaban el conocimiento humano en áreas específicas.                              | (Russell & Norvig, 2000)                                                 |
| 1997 | Deep Blue vence a Kasparov            | La supercomputadora de IBM derrotó al campeón mundial de ajedrez, Gary Kasparov.                                                | (Campbell, Hoane, & Hsu, 2002)                                           |
| 2001 | IA en videovigilancia                 | Se comienzan a implementar sistemas de reconocimiento facial en aeropuertos y espacios públicos.                                | Lyon, D. (2001). <i>Surveillance Society: Monitoring Everyday Life</i> . |
| 2011 | Watson gana en Jeopardy!              | La IA de IBM, Watson, derrotó a los campeones humanos en el programa de concursos.                                              | (Ferrucci, 2012)                                                         |
| 2016 | AlphaGo vence a Lee Sedol             | DeepMind desarrolló AlphaGo, que derrotó al campeón mundial de Go.                                                              | (Silver, y otros, 2016)                                                  |
| 2018 | IA en ciberseguridad                  | Empresas comienzan a utilizar IA para detectar ciberataques y fraudes en tiempo real.                                           | (Symantec , 2018)                                                        |
| 2020 | IA en seguridad ciudadana             | Implementación de IA en análisis de video para predecir crímenes y optimizar patrullajes.                                       | (Forbes, 2020)                                                           |
| 2022 | ChatGPT y el auge de la IA generativa | OpenAI lanzó ChatGPT, marcando un hito en modelos de lenguaje generativo.                                                       | (OpenAI (, 2022)                                                         |
| 2023 | GPT-4 y avances en multimodalidad     | OpenAI lanzó GPT-4, un modelo más avanzado, capaz de procesar texto e imágenes.                                                 | (OpenAI, 2023)                                                           |

Fuente: elaboración propia.

De la teoría a los primeros sistemas inteligentes (1950-1990). El punto de partida de la IA fue la prueba de Turing (1950) y la Conferencia de Dartmouth (1956), que establecieron sus bases teóricas.

Durante las siguientes décadas, la IA se centró en sistemas expertos y modelos básicos de procesamiento de lenguaje natural, como Eliza (1966). En las décadas de 1980 y 1990, los sistemas expertos comenzaron a aplicarse en seguridad y toma de decisiones. Un avance crucial fue la implementación de videovigilancia inteligente en 2001, marcando el inicio del uso de IA en el monitoreo de espacios públicos. IA en toma de decisiones y aprendizaje profundo (1997-2016). La victoria de *Deep Blue* sobre Kasparov (1997) evidenció la capacidad de las máquinas para superar a los humanos en tareas específicas.

Posteriormente, en 2011, IBM Watson demostró la capacidad de la IA en la comprensión del lenguaje natural al ganar en *Jeopardy!* Paralelamente, la IA comenzó a utilizarse en ciberseguridad, con algoritmos que detectaban amenazas en tiempo real. En 2016, la victoria de AlphaGo sobre Lee Sedol mostró el poder del aprendizaje profundo, impulsando la investigación en IA para la toma de decisiones complejas y finalmente, el artículo de investigación *Attention Is All You Need* fue publicado en 2017. Se trata de un trabajo fundamental sobre aprendizaje automático escrito por ocho científicos de Google. Este trabajo dio paso a lo que hoy conocemos como la IA generativa.

## IA generativa y su impacto en seguridad (2018-2024)

A partir de 2018, la IA se consolidó en ciberseguridad, identificando ataques y fraudes en tiempo real. En 2020, se integró en la seguridad ciudadana mediante el análisis predictivo del crimen. En 2022, modelos como ChatGPT y DALL-E revolucionaron la generación de contenido, pero también plantearon desafíos en desinformación y fraudes digitales. Para 2023, la IA ya se utilizaba ampliamente en la detección de *deepfakes* y fraudes, mientras que, en 2024, la UE aprobó la AI Act, estableciendo un marco regulador para el uso de la IA en seguridad y otros sectores.

La inteligencia artificial ha pasado de ser un concepto teórico a una tecnología disruptiva con aplicaciones en múltiples áreas, incluyendo: seguridad, educación, agro. Su avance ha traído tanto beneficios como riesgos, lo que ha impulsado la necesidad de regulaciones. A medida que la IA sigue evolucionando, su impacto en la seguridad y la sociedad dependerá del equilibrio entre innovación, responsabilidad ética y entendimiento de sus limitaciones.

La IA ha emergido como una de las tecnologías más disruptivas del siglo XXI, transformando múltiples sectores económicos y sociales a nivel global. Su

impacto ha sido significativo en áreas como la salud, la educación, la industria y las finanzas, promoviendo la automatización, la optimización de procesos y la generación de conocimiento a partir del análisis de grandes volúmenes de datos. A continuación, se presentan las principales tendencias y avances recientes en el desarrollo y aplicación de la IA en el panorama global, a manera de actualización del estado del arte.

## Tendencias y avances globales en inteligencia artificial

A nivel mundial, la inteligencia artificial ha experimentado un crecimiento acelerado, impulsado por el desarrollo de modelos más sofisticados, el aumento en la capacidad de procesamiento y el acceso a grandes volúmenes de datos. De acuerdo con la Universidad Internacional de Valencia (2025), algunos de los avances y tendencias más relevantes que se han realizado están enfocados en la salud, la movilidad y la industria.

De acuerdo con Valencia (2025), países como Estados Unidos, China y los miembros de la Unión Europea han destinado recursos significativos a la investigación en IA, promoviendo la innovación en sectores estratégicos como: la salud, la ciberseguridad, la movilidad y la industria. Estas inversiones han permitido el desarrollo de algoritmos más avanzados y eficientes, facilitando la automatización de tareas complejas y la toma de decisiones basadas en datos.

## Aplicaciones en el sector Salud

De acuerdo con la Universidad de Valencia, la IA ha revolucionado el sector salud a través de sistemas de diagnóstico asistidos por inteligencia artificial, el análisis predictivo de enfermedades y la personalización de tratamientos médicos. Esta misma universidad afirma que el uso de redes neuronales y modelos de aprendizaje profundo ha permitido mejorar la precisión en la detección de patologías como el cáncer y enfermedades cardiovasculares, optimizando la atención médica y reduciendo costos.

## Educación personalizada y automatización del aprendizaje

Según la Universidad de Valencia se entiende que la educación ha sido otro sector beneficiado por la IA. Plataformas de aprendizaje adaptativo permiten personalizar el contenido educativo según las habilidades y necesidades de cada estudiante. Además, la automatización de procesos administrativos y la aplicación de *chat-bots* educativos han mejorado la eficiencia en instituciones académicas.

## Transformación en el sector financiero

En el ámbito financiero, la inteligencia artificial ha permitido la optimización de la gestión del riesgo crediticio, la detección de fraudes y la automatización de servicios bancarios. De acuerdo con la Universidad de Valencia, tecnologías como el *machine learning* y el procesamiento del lenguaje natural han facilitado la toma de decisiones en tiempo real, aumentando la seguridad y la eficiencia operativa.

La IA ha transitado desde una concepción meramente teórica hasta convertirse en una tecnología disruptiva con aplicaciones en diversos campos, incluyendo la seguridad, la educación y la generación de contenido. En sus inicios, la IA se basaba en sistemas expertos con reglas predefinidas, como Eliza en los años sesenta. Posteriormente, la aparición de métodos de aprendizaje profundo (*deep learning*) posibilitó hitos como la victoria de AlphaGo sobre Lee Sedol (2016), evidenciando la capacidad de las máquinas para adaptarse a entornos complejos y superar a los seres humanos en tareas específicas (Universidad Internacional de Valencia, 2025). Asimismo, el desarrollo de modelos de procesamiento de lenguaje natural ha transformado la interacción humano-computadora. Estudios recientes destacan que esta evolución responde tanto a la disponibilidad de grandes conjuntos de datos como a la mejora de la infraestructura tecnológica (Rodríguez, 2022).

A nivel mundial, países como Estados Unidos, China y los miembros de la Unión Europea invierten considerables recursos para consolidar la IA en sectores estratégicos, tales como: la ciberseguridad, la industria y la salud. Según la Universidad Internacional de Valencia (2025), estos esfuerzos se orientan a la automatización de procesos complejos y a la toma de decisiones basadas en datos. El auge de la IA para el análisis predictivo ha generado avances importantes en la detección de fraudes y la optimización de operaciones bancarias, mientras que en la industria se ha potenciado el uso de robots colaborativos y sistemas de control en tiempo real. Investigaciones recientes confirman que la escalada de la computación en la nube y la abundancia de datos ha sido determinante para la madurez de la IA en el ámbito empresarial (Pérez, 2021).

## Inteligencia artificial e incremento de la productividad: impacto en el desarrollo social

Analizar la relación entre la inteligencia artificial (IA) y el incremento de la productividad permite comprender uno de los fenómenos más relevantes de la transformación digital actual y su relevancia frente al progreso. La IA ha demostrado ser una herramienta con alto potencial para optimizar procesos, automatizar tareas repetitivas, reducir errores humanos y generar análisis predictivos en tiempo real,

lo que se traduce en una mejora sustancial en la eficiencia (relación tiempo/resultados) y, por ende, en la productividad de las organizaciones.

Varios estudios muestran que la implementación de la IA ha tenido un impacto positivo en diferentes sectores de la economía y sociales como la industria, la salud, las finanzas, la educación, el comercio y los servicios. Según el informe de McKinsey Global Institute (2018), el uso intensivo de IA puede incrementar la productividad laboral global en un rango de 0,8 % a 1,4 % anualmente para 2030, lo que representa un cambio estructural profundo en la economía.

Además, el aumento de la productividad que genera el uso de la IA no solo produce beneficios económicos, sino que también puede contribuir de manera significativa al desarrollo social, siempre que su aplicación se haga de forma ética e inclusiva. La OCDE (2021) destaca que la IA puede ser determinante en el logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), especialmente en términos de educación, salud y reducción de desigualdades, eso sí, si se implementan políticas gubernamentales que fomenten la equidad en el acceso a dicha tecnología.

Igualmente, la UNESCO (2021) ha insistido en que para que la IA se convierta verdaderamente en un motor de desarrollo humano, debe orientarse al bien común, garantizando así la protección de los derechos humanos y considerando los contextos culturales y sociales de donde se implemente.

En este sentido, la relación entre IA y productividad es clara y creciente. Sin embargo, su verdadero impacto no solo deberá medirse en términos económicos, sino en su capacidad de generar progreso social, disminuir las brechas tecnológicas y en consecuencia mejorar la calidad de vida de las personas.

## Cómo funciona la IA y por qué representa un catalizador esencial de cambio y progreso

La IA funciona mediante algoritmos que permiten a las máquinas *inteligentes* y *programables* simular procesos cognitivos humanos como: el aprendizaje, el razonamiento y la toma de decisiones. A través de técnicas tales como: el aprendizaje automatizado (*machine learning*), el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y las redes de programación complejas, los sistemas de IA adquieren la capacidad de analizar datos, examinar e identificar patrones complejos y desarrollar tareas de manera autónoma o semiautónoma (dirigido por un humano) (Russell & Norvig, 2021). En resumen, es la capacidad de un sistema informático de imitar funciones cognitivas humanas, como el aprendizaje y la solución de problemas.

Esta capacidad de aprendizaje y adaptación convierte a la IA en un catalizador esencial de cambio y progreso, ya que permite optimizar radicalmente la productividad en sectores clave para cualquier nación. Por ejemplo, en el sector industrial, la IA puede optimizar cadenas de suministro, reduciendo tiempos de producción; en la salud, puede mejorar y agilizar los diagnósticos y personalizar asimismo el tratamiento; en la educación, permite ofrece a los estudiantes herramientas adaptativas que fortalezcan el aprendizaje (OECD, 2019). Así, la IA no solo puede incrementar la eficiencia operativa, sino que posibilita la creación de nuevos modelos de empleo, negocios y servicios.

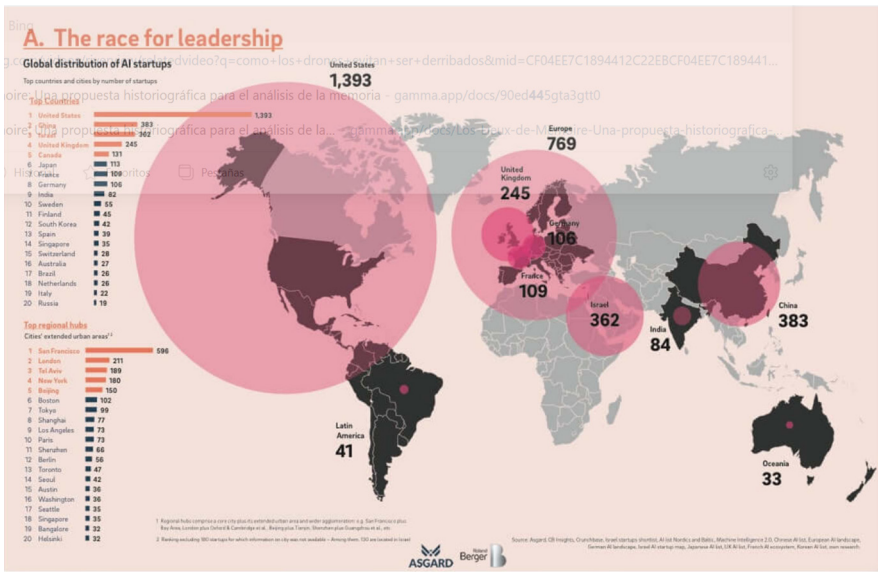
Con base en lo anterior, se puede afirmar que la interdependencia entre productividad, desarrollo humano y progreso se hace evidente cuando se acepta que el aumento de la productividad no es el objetivo final, sino un medio que permite ampliar las capacidades humanas y mejorar la capacidad adquisitiva de la población (Sen, 1999). Si la IA se implementa con una sentido inclusivo y ético, puede permitir más tiempo libre, mejorar las condiciones laborales, el acceso equánime al conocimiento y mayor calidad de vida. De este modo, el progreso no se puede medir solo en indicadores de crecimiento económico, sino en indicadores de bienestar, equidad y sostenibilidad social.

Por lo tanto, la IA representa una herramienta transformadora cuyo potencial debe ser guiado por principios de justicia, inclusión y respeto a los derechos humanos. Solo así podrá contribuir verdaderamente a un progreso interdependiente entre la productividad económica y el desarrollo humano integral.

## Productividad, desarrollo humano y progreso: interdependencia

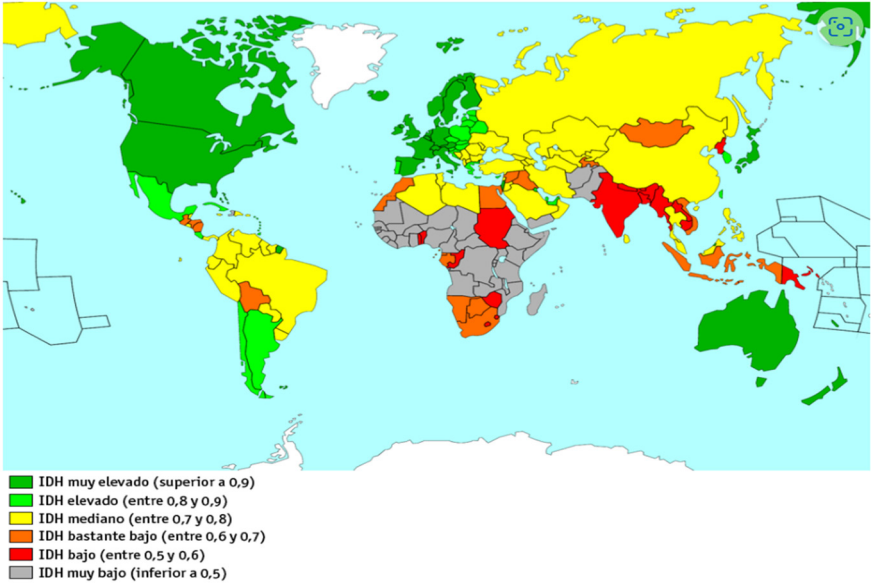
La tesis que se defiende en el presente trabajo es que a mayor productividad mayor desarrollo y progreso, que se traduce en bienestar colectivo. La misma lógica aplica para el desarrollo de la IA, y a su vez se puede afirmar que a mayor penetración tecnológica (IA), mayor desarrollo y progreso; con lo cual se configura lo que podríamos llamar un círculo virtuoso entre tecnología, desarrollo tecnológico y progreso (figuras 1 y 2).

Figura 1. Distribución empresas desarrolladoras de IA por países y ciudades



Fuente: FIAR (2025).

Figura 2. Índice de desarrollo humano 2024



Fuente: PNUD (2024).

El índice de desarrollo humano (IDH) tiene la facultad de estimar el progreso alcanzado por un país desde sus tres dimensiones esenciales de la evolución humana. Su importancia radica en que determina cuantitativamente el disfrute de una vida longeva y saludable, acceso a educación de calidad y elevado y digno nivel de vida. Además, el IDH permite la evaluación de un país contribuyendo así con sus ciudadanos a generar escenarios en los que estos puedan desenvolverse y llevar a cabo con amplitud sus proyectos y que sus condiciones de vida sean las óptimas. (PNUD, 2024, s. p.)

Al analizar los dos mapas anteriores, fácilmente se constata que los países con mayor desarrollo son los que más alto índice de penetración y aplicación de la IA tienen; esto además de confirmar la brecha digital creciente coincide con la lógica de que los productos del conocimiento como la IA requieren además, de talento y voluntad, de recursos aunados a una cultura como sociedad de apostar a la tecnología e incursionar intensamente en este nuevo modelo productivo, abandonando las fuentes tradicionales como el sector agrícola, de ser necesario. A mayor IDH mayor posibilidades de apropiación tecnológica.

Adicionalmente, la productividad constituye un factor esencial para impulsar el crecimiento económico y, por ende, posibilitar un mayor desarrollo humano. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2023), mejorar la eficiencia en la producción y en el uso de recursos propicia no solo el aumento de bienes y servicios disponibles, sino también la generación de empleo de mayor calidad. Este proceso repercute en la ampliación de oportunidades para las personas, ya sea a través de mejores salarios o de la posibilidad de acceder a formación especializada, elementos clave para elevar los niveles de bienestar.

En esta línea, la teoría expuesta en *Por qué fracasan los países* destaca que las naciones con instituciones inclusivas, capaces de fomentar la innovación y estimular la competitividad, tienden a conseguir mayores niveles de productividad (Acemoglu & Robinson, 2012). Dichas instituciones promueven la participación de diversos actores sociales, facilitando mecanismos de cooperación que potencian el crecimiento económico y aseguran una distribución más equitativa de sus beneficios. El desarrollo humano, entendido como el proceso que amplía las libertades y capacidades de las personas, se ve fortalecido cuando existen estas estructuras institucionales que incentivan el progreso económico y social.

La experiencia contemporánea demuestra que el progreso no puede concebirse al margen de la calidad de la gobernanza y la inclusión ciudadana. *Democracia artificial* analiza cómo la inteligencia artificial y la transformación digital pueden ayudar

a optimizar la gestión pública y a mejorar los servicios esenciales (Grundberger, 2025). Sin embargo, subraya que la adopción de tecnologías, por sí sola, no basta; es fundamental contar con marcos regulatorios que equilibren la innovación con la protección de los derechos humanos y la igualdad de oportunidades. Esto refrenda la idea de que productividad y desarrollo humano no son procesos aislados, sino componentes de una interdependencia que exige políticas sólidas y visiones de largo plazo.

Asimismo, al aumentar la productividad, se multiplican los recursos que pueden destinarse a programas de educación, salud y protección social. PNUD (2023) resalta que este incremento de la inversión social es fundamental para sostener mejoras continuas en el índice de desarrollo humano (IDH) y garantizar la reducción de la pobreza en el mediano y largo plazo. De esta forma, se consolida una relación cíclica: mayores niveles de productividad generan un excedente económico, el cual, si es gestionado con equidad y transparencia, potencia la formación de capital humano, un aspecto indispensable para mantener la competitividad y el progreso.

La correlación entre productividad y desarrollo humano reitera que sin la participación de los ciudadanos en los procesos productivos y sin estrategias que promuevan la equidad, el crecimiento económico puede verse limitado y las brechas sociales, acentuadas (Grundberger, 2025). Tanto la adopción de tecnologías emergentes, como la IA, como la construcción de entornos institucionales inclusivos, son vectores que sostienen esa interdependencia, generando un círculo virtuoso donde la productividad alimenta el desarrollo y el desarrollo, a su vez, da base a nuevos saltos en la productividad. Este equilibrio entre eficiencia económica y justicia social es el camino hacia un progreso sostenible y equitativo para todos.

Los conceptos de productividad, desarrollo humano y progreso están profundamente interrelacionados, especialmente en el contexto de la transformación digital impulsada por la IA. Comprender esta interdependencia es clave para evaluar el verdadero impacto de la IA en países como Colombia.

La productividad se refiere a la relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos en un proceso económico. Esta se mide mediante indicadores de rendimiento y de eficiencia en un sector determinado. Sin embargo, vista de manera independiente, no garantiza una mejora en la calidad de vida de la ciudadanía y mucho menos como impulsor de desarrollo equitativo.

Por su parte, el desarrollo humano es un enfoque centrado en la persona, en sus capacidades y necesidades. Según Sen (1999), esta consiste en ampliar las

libertades reales que las personas disfrutan, como el acceso a la educación, la salud, participación política y el goce de una vida digna. Este enfoque entiende que el crecimiento económico es importante en la medida en que se convierta en oportunidades reales para todos.

El progreso, entonces, se debe entender como el avance integral de una sociedad en términos económicos, sociales, ambientales y culturales. No se trata solo de generar riqueza, sino de garantizar que esta contribuya al bienestar social.

En el contexto colombiano, donde persisten las brechas de desigualdad, informalidad laboral y baja productividad en muchos sectores estratégicos, la IA representa una gran oportunidad. Si bien esta puede mejorar la productividad (OCDE, 2019), su verdadero potencial radica en cómo puede cerrar brechas sociales y fortalecer las capacidades humanas. Por ejemplo, la IA aplicada en la agricultura, la educación virtual o el diagnóstico médico; puede generar impactos fundamentales tanto en términos de eficiencia, como en el acceso a servicios esenciales.

En este sentido, la interdependencia entre productividad, desarrollo humano y progreso exige que los avances tecnológicos deben ser regidos por una visión de justicia social, asegurando que sus beneficios alcancen a todos los territorios y poblaciones, especialmente a los más vulnerables. Cabe resaltar que para lograr una verdadera inclusión digital, es fundamental garantizar la conectividad. Es imposible pensar en la prestación de soluciones basadas en IA en regiones con desafíos en términos de cobertura.

## Potencial de la IA para aumentar la productividad en Colombia

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una de las principales fuerzas transformadoras en diversas economías globales, y Colombia no es la excepción. A medida que las tecnologías avanzan, la IA se presenta como una herramienta clave para aumentar la productividad, especialmente en sectores clave como la manufactura, los servicios, la agricultura y la educación. A continuación, se analizan los aspectos más relevantes del impacto potencial de la IA en la productividad de Colombia.

### Automatización de procesos en la industria y manufactura

En Colombia, los sectores industriales y de manufactura pueden beneficiarse enormemente de la implementación de sistemas de IA que automatizan tareas

repetitivas, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos operativos. La automatización no solo optimiza la producción, sino que también mejora la calidad y la precisión de los productos. La IA puede contribuir a la creación de *fábricas inteligentes* donde los sistemas autónomos supervisan y ajustan los procesos en tiempo real, minimizando errores humanos y maximizando el rendimiento.

## Optimización del sector agropecuario

La agricultura es un sector clave para la economía colombiana. Con la ayuda de IA, se pueden implementar tecnologías como sensores inteligentes, drones y análisis predictivos para mejorar el rendimiento de los cultivos, predecir patrones climáticos y gestionar de manera más eficiente los recursos naturales. Esto no solo incrementa la productividad agrícola, sino que también reduce el uso de insumos como fertilizantes y agua, promoviendo la sostenibilidad.

## Mejoras en los servicios públicos y el sector Salud

La IA tiene el potencial de transformar el sector salud mediante la implementación de diagnósticos automatizados, la gestión inteligente de datos y el análisis predictivo de enfermedades. En Colombia, donde el sistema de salud enfrenta desafíos de acceso y eficiencia, la IA puede optimizar la asignación de recursos, mejorar el tiempo de respuesta y reducir costos operativos. Esto se traduce en un servicio de salud más eficiente y accesible para la población.

En el contexto colombiano, la inteligencia artificial ha comenzado a consolidarse como un motor de transformación en diversos sectores. Si bien el país aún enfrenta desafíos en términos de acceso a tecnología, formación de talento y regulación, existen oportunidades significativas para el aprovechamiento de la IA en el desarrollo económico y social.

## Aplicaciones en sectores clave de Colombia

La adopción de la IA en Colombia se ha extendido a múltiples sectores, incluyendo la salud, la educación y el ámbito financiero. De acuerdo con la Universidad Internacional de Valencia (2025), centros hospitalarios y de investigación han implementado sistemas que analizan imágenes clínicas, detectan patrones en datos médicos y optimizan la gestión hospitalaria. En el área educativa, la IA ofrece plataformas de aprendizaje adaptativo que personalizan contenidos y métodos de evaluación, aunque persisten desafíos relacionados con la infraestructura en zonas rurales (Pérez, 2021). Por otro lado, el sector financiero ha experimentado

mejoras en la detección de fraudes y en la gestión de riesgos crediticios, favoreciendo la eficiencia de las operaciones bancarias y la experiencia del usuario (Rodríguez, 2022).

## Inteligencia artificial en el sector Seguridad y Defensa

En Colombia, la integración de la IA en defensa y seguridad se evidencia en iniciativas como el dron táctico Quimbaya, desarrollado por la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC), que opera con sistemas inteligentes para misiones de vigilancia y reconocimiento (Web Infodefensa, 2023). El Ministerio de Defensa Nacional (MDN), mediante la iniciativa “Fuerza Innovación”, fomenta la colaboración público-privada para aprovechar tecnologías emergentes, incluida la IA, a fin de reforzar la capacidad de respuesta ante amenazas (MDN, 2025). Simultáneamente, la Escuela Superior de Guerra (2025) imparte programas de formación en IA orientados a la defensa, con énfasis en la investigación y el desarrollo de soluciones autónomas. Además, se han llevado a cabo foros especializados, como “Paz y Seguridad en la era de la inteligencia artificial” (MinTIC, 2024), que promueven un diálogo sobre la protección de derechos, el impulso a la innovación y el uso ético de la IA en escenarios de seguridad.

Pese a los avances en sectores como la salud, la educación y la defensa, el potencial transformador de la IA exige marcos regulatorios claros y una reflexión ética constante. Colombia, al igual que otros países de la región, enfrenta desafíos de infraestructura y de formación de talento que limitan la escalabilidad y la adopción de la IA (Rodríguez, 2022). No obstante, iniciativas gubernamentales y colaboraciones con el sector privado y la academia auguran la posibilidad de fortalecer la competitividad y el bienestar social. Estudios recientes confirman que el desarrollo de la IA resulta más eficaz cuando se acompaña de inversiones en capital humano y políticas que promuevan la transparencia y la equidad (Pérez, 2021). De este modo, la IA podría continuar afianzando su papel como motor de innovación, dinamizando la economía y contribuyendo a la seguridad y la defensa en un entorno global cada vez más conectado.

## Iniciativas de regulación y políticas públicas

El Gobierno colombiano ha reconocido la importancia de la IA y ha avanzado en la formulación de políticas para su regulación y adopción responsable. Se han establecido iniciativas para fomentar el desarrollo tecnológico, garantizando la protección de datos y promoviendo el acceso equitativo a los beneficios de la inteligencia

artificial. Sin embargo, aún queda trabajo por hacer para definir normativas más específicas que equilibren la innovación con la seguridad y la privacidad de los ciudadanos.

### *Hoja de ruta de la inteligencia artificial*

En febrero de 2024, el MinCiencias presentó la “Hoja de ruta de la inteligencia artificial” (2024, p. 27), un documento estratégico que orientará las políticas y acciones del Gobierno nacional para garantizar un desarrollo ético y sostenible de esta tecnología en el país.

Esta hoja de ruta establece cinco entornos estratégicos de trabajo: 1) Ética y gobernanza IA: promueve la transparencia y participación ciudadana en el uso de IA. 2) Educación, investigación e innovación IA: fomenta la formación de talento y el acceso a la IA en el ámbito educativo y profesional. 3) Industrias innovadoras y emergentes IA: impulsa la adopción de IA en sectores productivos y la colaboración entre empresas y academia. 4) Datos y organizaciones IA: estimula la gestión segura de datos y la integración de IA en las empresas. 5) Privacidad, ciberseguridad y defensa IA: garantiza el uso seguro y ético de la IA en seguridad y defensa nacional.

Además, el MinCiencias anunció iniciativas complementarias como la conformación de un comité de expertos en IA, la participación en un proyecto internacional con la UNESCO y la Comisión Europea sobre IA ética, y el lanzamiento del programa Colombia Inteligente.

### *CONPES 3975. Política Nacional para la Transformación Digital y la Inteligencia Artificial*

De acuerdo con el DNP (2024) el CONPES 3975 establece la Política Nacional para la Transformación Digital y la Inteligencia Artificial en Colombia, con el objetivo de impulsar el desarrollo y uso ético de estas tecnologías en el país. La estrategia se enfoca en mejorar la productividad, la competitividad y la calidad de vida de los ciudadanos a través de la digitalización e innovación.

Sus principales ejes incluyen el fortalecimiento de la infraestructura digital, la promoción de la educación y formación en IA, el desarrollo de marcos regulatorios que garanticen la seguridad y privacidad de los datos, y la implementación de herramientas tecnológicas en sectores clave como la salud, la educación y la industria.

### *CONPES 4144. Política Nacional de Inteligencia Artificial*

El documento CONPES 4144, titulado “Política Nacional de Inteligencia Artificial”, fue aprobado el 14 de febrero de 2025. Este documento de acuerdo con el DNP (2015), establece la estrategia de Colombia para desarrollar capacidades en investigación, adopción y uso ético de la inteligencia artificial (IA), con el objetivo de abordar desafíos sociales, económicos y ambientales, y fomentar una economía basada en el conocimiento. La política se estructura en torno a seis ejes estratégicos:

- Ética y gobernanza: fortalecer los mecanismos de gobernanza y la aplicación de principios éticos relacionados con los sistemas de IA, asegurando su desarrollo y uso responsable en beneficio del país.
- Datos e infraestructura: mejorar la infraestructura tecnológica y promover la disponibilidad, intercambio y representatividad de datos necesarios para el desarrollo y adopción de sistemas de IA.
- Investigación, desarrollo e innovación: impulsar la investigación y el desarrollo en IA para generar conocimiento y aumentar la productividad, traduciéndose en beneficios para la sociedad.
- Capacidades y talento digital: desarrollar habilidades y fortalecer el talento humano en el ámbito digital, preparando a la población para los desafíos y oportunidades que presenta la IA.
- Mitigación de riesgos: identificar y gestionar los riesgos asociados al uso de la IA, estableciendo medidas que garanticen su implementación segura y confiable.
- Uso y adopción de la IA: fomentar la adopción de la IA en diversos sectores, promoviendo su integración en procesos productivos y de toma de decisiones para mejorar la eficiencia y competitividad.

### *Desigualdad y brecha digital*

El acceso desigual a tecnologías avanzadas puede profundizar la brecha digital entre regiones urbanas y rurales. Esto podría generar una concentración del desarrollo tecnológico en ciertos sectores, dejando rezagadas a comunidades con menos recursos.

De acuerdo con Moncada (2025) la brecha digital es uno de los principales riesgos en la implementación de la inteligencia artificial (IA) en Colombia. Con solo el 62 % de la población con acceso a internet, la desigualdad en la conectividad

limita el uso equitativo de tecnologías avanzadas y restringe oportunidades para comunidades vulnerables.

El CONPES 4144 busca reducir estas brechas mediante inversión en infraestructura, educación digital e investigación en IA. Sin embargo, sin un acceso más inclusivo a la conectividad y la formación en habilidades tecnológicas, la IA podría reforzar desigualdades existentes en lugar de reducirlas. Garantizar una adopción equitativa de la IA es clave para que su impacto sea positivo y accesible para toda la sociedad.

## Impacto en el empleo

El avance de la inteligencia artificial (IA) en Colombia plantea un desafío importante en el mercado laboral: la automatización de tareas puede desplazar a trabajadores en sectores como manufactura, atención al cliente, logística y comercio minorista.

Sin embargo, este impacto no es homogéneo. Mientras ciertos trabajos desaparecen, surgen nuevas oportunidades en el desarrollo de *software*, ciencia de datos y ética en IA. La clave está en la reconversión laboral: los trabajadores deberán adquirir nuevas habilidades para adaptarse a un entorno tecnológico cambiante.

El Gobierno colombiano, a través del MinTrabajo, ha reconocido estos riesgos y ha propuesto estrategias para mitigar el desempleo, incluyendo protección de procesos de automatización y programas de formación en habilidades digitales. La reforma laboral en curso también busca abordar estos desafíos ante la proyección de que un 40 % de los empleos actuales podrían ser automatizados en los próximos diez años, lo anterior con base a Revista Cambio (2024).

En conclusión, la IA no amenaza empleos, exige una transformación del hacer frente a la rápida adopción del nuevo conocimiento y la adaptación al cambio intelectual, el cual redefine el mercado laboral, exigiendo políticas públicas sólidas para garantizar una transición equitativa y evitar que la automatización agrave las desigualdades existentes en el país. Otros riesgos inherentes a la implementación masiva de la IA son:

- Uso malintencionado de la IA: existe el riesgo de que la IA sea utilizada para fines delictivos, como el desarrollo de ciberataques más sofisticados, la manipulación de información o la creación de sistemas de vigilancia masiva sin controles adecuados.
- Falta de regulación y supervisión: aunque Colombia ha avanzado en la creación de normativas para la IA, la falta de un marco regulador sólido

y actualizado podría derivar en el uso irresponsable de estas tecnologías, afectando la ética y los derechos humanos.

- Dependencia tecnológica: una adopción descontrolada de la IA sin el fortalecimiento de capacidades nacionales podría generar una dependencia excesiva de proveedores tecnológicos extranjeros, limitando el desarrollo autónomo del país en esta área.

Para mitigar estos riesgos, es fundamental que Colombia continúe desarrollando políticas y regulaciones claras, promoviendo la educación digital, fortaleciendo la ciberseguridad y garantizando que la IA se implemente de manera ética y equitativa.

## Lineamientos que fortalecen la competitividad y la cohesión social

La IA tiene potencial para transformar el desarrollo humano y el progreso de las naciones, incluyendo a Colombia. En un país como este, con retos significativos en términos de desigualdad social, limitaciones en acceso a la educación y a los servicios de salud, la IA puede ofrecer soluciones innovadoras para mejorar las condiciones de vida y promover el desarrollo económico. Sin embargo, su implementación debe ir acompañada de un componente ético y político que garantice que sus beneficios lleguen a todos los sectores de la población de manera equitativa, de lo contrario exacerbaría las desigualdades existentes.

## Desafíos y estrategias para la adopción de la IA en Colombia

El desarrollo de la inteligencia artificial en Colombia ha registrado avances relevantes, pero aún enfrenta dificultades considerables para su plena adopción. Uno de los principales retos es la brecha digital, que limita el acceso a la tecnología en múltiples regiones del país. Para superarla, resulta esencial fortalecer la infraestructura tecnológica y garantizar una mayor conectividad en zonas rurales y urbanas. Este esfuerzo permitiría que iniciativas basadas en IA alcancen un público más amplio, impulsando la productividad y facilitando la participación ciudadana (Observatorio de IA Colombia, 2022). La experiencia de otras economías emergentes, como señala el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), demuestra

que la expansión de la conectividad rural incide significativamente en la adopción y desarrollo de soluciones de IA, potenciando la inclusión digital.

En cuanto a la formación de talento especializado, la oferta académica en IA todavía resulta insuficiente frente a la creciente demanda del sector. Para responder a esta carencia, es fundamental ampliar la gama de programas formativos y promover alianzas estratégicas entre el sector público y privado. De esta manera, se podría capacitar a la fuerza laboral en competencias digitales y tecnológicas, preparando a los profesionales para afrontar los desafíos de la innovación y fomentar la competitividad nacional. Según el MinTIC (2023), la creación de cátedras y diplomados en IA, así como el apoyo a grupos de investigación universitaria, ha tenido un impacto positivo en la generación de conocimiento y la retención de talento, aunque el ritmo de crecimiento todavía no se equipara a la necesidad del mercado.

Por otro lado, el ámbito regulatorio exige avances continuos para establecer un marco normativo que promueva el uso ético y seguro de la IA. La creación de políticas claras y flexibles contribuiría a mitigar riesgos relacionados con la privacidad y la seguridad de los datos. En este sentido, el CONPES 4144 ha trazado lineamientos estratégicos, si bien su consolidación normativa sigue pendiente para asegurar la adopción equitativa de la IA y alentar la confianza en la tecnología. Estudios recientes del Banco Mundial (2022) señalan que la ausencia de un marco legal robusto puede derivar en prácticas discriminatorias y en la vulneración de derechos fundamentales, lo que subraya la urgencia de instaurar principios de transparencia y rendición de cuentas.

Asimismo, la articulación interinstitucional aparece como una estrategia clave para impulsar la adopción de la IA en distintos sectores. Iniciativas conjuntas entre agencias gubernamentales, academia y sector privado pueden favorecer la investigación y el desarrollo de soluciones basadas en IA (Bermúdez, 2018). En paralelo, incentivar la inversión en innovación y tecnología mediante beneficios fiscales o fondos concursables se perfila como una práctica efectiva para acelerar la llegada de emprendedores y proyectos pioneros en el país. Con un enfoque de cooperación internacional y una clara asignación de recursos, Colombia podría afianzar su posición como un referente en la región, fomentando un entorno en el que la IA sea un motor de desarrollo sostenible y equitativo.

## Algunos desafíos por superar para la integración de la inteligencia artificial en Colombia

El aprovechamiento pleno de la IA continúa restringido por factores estructurales que obstaculizan su implementación en sectores clave. Uno de los principales obstáculos es la brecha digital e infraestructura tecnológica, la cual impide un acceso equitativo a las herramientas de IA. Según Moncada (2025), solo el 62 % de la población colombiana tiene conectividad a internet, lo que concentra el desarrollo y aplicación de la IA en zonas urbanas, en detrimento de las regiones rurales y de las comunidades más vulnerables.

Asimismo, la formación de talento especializado se ve limitada por la insuficiencia de programas académicos e instituciones que ofrezcan formación avanzada en IA, ciencia de datos y aprendizaje automático. Esta situación aumenta la dependencia de tecnología foránea y restringe la capacidad del país para desarrollar soluciones innovadoras propias. Además, la privacidad y la seguridad de los datos representan otro escollo importante en la adopción de la IA. De acuerdo con *La República* (2024), el 68,6 % de los colombianos manifiesta preocupación por el uso indebido de su información personal, mientras que la creciente vulnerabilidad a ciberataques, evidenciada por 20 000 millones de incidentes en 2022 según Fortinet (citado en *La República*, 2024), expone la fragilidad de los sistemas que incorporan IA.

Respecto del impacto de la IA en el empleo, si bien la automatización puede mejorar la eficiencia en diversos ámbitos, la falta de políticas de reconversión laboral incrementa la incertidumbre sobre la estabilidad de ciertos puestos de trabajo. Un 40 % de los empleos actuales en Colombia corre riesgo de automatizarse en la próxima década, lo cual subraya la necesidad de diseñar estrategias que fomenten la capacitación en habilidades digitales y tecnológicas para evitar un aumento del desempleo (*La República*, 2024). Por último, la dependencia de soluciones extranjeras y la ausencia de un marco regulatorio robusto limitan la soberanía digital y la capacidad de innovación local, obstaculizando el despliegue autónomo de la IA en el país.

En síntesis, aunque la IA ofrece oportunidades para el desarrollo y la competitividad, superarlas requiere un compromiso integral por parte del gobierno, la academia y la industria. La adopción de la IA en Colombia solo podrá materializar su potencial si se cierran las brechas de infraestructura y formación, se garantiza la protección de la privacidad y la seguridad de la información, y se establece una regulación coherente que estimule la innovación y el uso responsable de la tecnología. Con ello, la IA podría convertirse en un verdadero catalizador de progreso y equidad a escala nacional.

# Propuesta operativa para la adopción equitativa y competitiva de la IA

## Fase 1. Diagnóstico y análisis multisectorial

- Actividades: recopilación y sistematización de experiencias de IA en educación, salud y finanzas; entrevistas a actores gubernamentales, privados y académicos; revisión de marcos normativos nacionales e internacionales.
- Responsables: equipo investigador, ministerios sectoriales, observatorios de tecnología.
- Recursos: acceso a bases de datos, personal técnico, *software de análisis*.
- *Indicadores: número de casos documentados, cantidad de actores entrevistados, brechas normativas identificadas.*
- Riesgos: resistencia institucional, falta de acceso a datos, escasa disponibilidad de actores clave.

## Fase 2. Construcción participativa de lineamientos

- Actividades: talleres intersectoriales con participación pública, privada y académica; identificación de principios orientadores (equidad, inclusión, sostenibilidad y competitividad); redacción de lineamientos estratégicos.
- Responsables: comité técnico interinstitucional, facilitadores expertos.
- Recursos: espacios de encuentro, materiales didácticos, metodologías participativas.
- Indicadores: número de talleres realizados, nivel de participación por sector, validación de lineamientos por actores.
- Riesgos: baja representatividad, conflictos de interés entre sectores, falta de consenso.

## Fase 3. Diseño de hoja de ruta para la implementación

- Actividades: definición de acciones prioritarias por sector; asignación de responsabilidades institucionales; propuesta de mecanismos de financiamiento y cooperación.
- Responsables: entidades de planeación, ministerios sectoriales, asociaciones tecnológicas.

- Recursos: asistencia técnica, coordinación interinstitucional, presupuesto base.
- Indicadores: hoja de ruta publicada, compromisos institucionales formalizados, cronograma aprobado.
- Riesgos: limitaciones presupuestales, rotación de personal institucional, falta de articulación.

## Fase 4. Monitoreo y evaluación

- Actividades: desarrollo de indicadores de impacto (productividad, acceso, equidad); implementación de un sistema de monitoreo en línea; evaluaciones periódicas con retroalimentación.
- Responsables: entidades de control, observatorios de política pública, centros de investigación.
- Recursos: plataformas tecnológicas, personal evaluador, sistemas de información.
- Indicadores: informes de seguimiento, indicadores comparativos por sector, ajustes de política propuestos.
- Riesgos: débil cultura de evaluación, desactualización tecnológica, falta de datos desagregados.

## Conclusiones

A continuación, se da cuenta de la comprobación de la tesis formulada, así como del cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos. Se demostró que la inteligencia artificial (IA) no solo actúa como un mecanismo de automatización de procesos, sino que se afianza como una herramienta estratégica para dinamizar la competitividad y generar cohesión social (Giraldo Leal, 2025). Este estudio constató que la adopción de la IA tiene el potencial de elevar la productividad en diversos sectores y, simultáneamente, promover el bienestar de la población, siempre y cuando se cuente con políticas públicas claras y se disminuyan las brechas formativas.

Sin embargo, la implementación de la IA en el contexto colombiano exige superar obstáculos ligados a la infraestructura tecnológica, la formación de talento especializado y la necesidad de un marco normativo adecuado. El fortalecimiento

de alianzas interinstitucionales y una visión de largo plazo son factores críticos para garantizar que la IA se convierta en un catalizador de desarrollo sostenible y equitativo, evitando que genere nuevas desigualdades o profundice las ya existentes (Herrera, 2007; Martínez-Ortega & Medina-Chicaiza, 2020).

En cuanto al objetivo general, el estudio muestra que la IA es una herramienta clave en la transformación digital, mejorando la eficiencia y productividad al optimizar procesos, automatizar tareas y reducir errores. Es así como estudios, como el de McKinsey (2018), indican que su uso puede aumentar la productividad laboral global entre un 0,8 % y 1,4 % anual hasta 2030, impactando sectores como la industria, salud, finanzas y comercio. Sin embargo, más allá de lo económico, también puede contribuir al desarrollo social si se implementa de manera ética e inclusiva. La OCDE (2021) destaca su potencial para apoyar los objetivos de desarrollo sostenible.

La revisión de la literatura y los casos prácticos permitió confirmar la hipótesis de que la IA, al optimizar procesos y aportar soluciones innovadoras, contribuye de manera directa al crecimiento económico. Organizaciones que han adoptado algoritmos de aprendizaje automático, por ejemplo, reportan mejoras en la eficacia operativa y en la calidad de sus productos y servicios. Este aumento de competitividad, a su vez, se traduce en oportunidades de empleo más especializadas y mayores ingresos fiscales, que pueden destinarse a inversión social (*La República*, 2024; Moncada, 2025).

Paralelamente, la investigación demostró que el impacto de la IA no se limita a la esfera económica. Al incidir en ámbitos como la educación, la salud y la seguridad, la IA puede beneficiar directamente la calidad de vida de la población. Sin embargo, su efecto en el desarrollo social depende en gran medida de la superación de la brecha digital, la accesibilidad a la infraestructura tecnológica y la promoción de prácticas inclusivas y éticas. Bajo estas condiciones, la IA se erige como un factor decisivo para el progreso equitativo (CONPES 4144, 2022).

Con relación al objetivo específico 1, de acuerdo con los resultados, se puede evidenciar que la IA opera a través de algoritmos capaces de imitar funciones cognitivas humanas, como el aprendizaje y la toma de decisiones, utilizando técnicas como el aprendizaje automático y el procesamiento del lenguaje natural (Russell & Norvig, 2021). Esta tecnología opera como un catalizador de cambio y progreso, ya que permite optimizar significativamente la productividad en muchos sectores como la salud, la educación y la industria, entre otros (OECD, 2019). Ahora bien, la productividad, el desarrollo humano y el progreso son interdependientes, es decir,

el aumentar la eficiencia tecnológica y orientarla hacia el bienestar colectivo permite ampliar las capacidades humanas (Sen, 1999). En este sentido, la IA contribuye al desarrollo integral si su implementación se guía desde la ética, con un enfoque inclusivo y centrado en la ciudadanía.

Para comprender de qué manera la IA funciona como catalizador, fue preciso analizar sus métodos básicos, entre ellos el aprendizaje automático y el procesamiento del lenguaje natural. Dichas tecnologías permiten a los sistemas *aprender* a partir de datos, adaptarse a distintos entornos y resolver problemas con una rapidez que supera a las aproximaciones tradicionales (Herrera, 2007). En consecuencia, la IA no se limita a la ejecución de tareas repetitivas, sino que desarrolla capacidades predictivas y de toma de decisiones, posicionándose como una fuerza disruptiva en la transformación de procesos industriales y comerciales.

Aunado a lo anterior, la IA propicia cambios estructurales en la forma de generar conocimiento y diseñar soluciones. Su aplicación en el análisis de *big data*, por ejemplo, facilita la identificación de patrones complejos en tiempo real, impulsando la innovación en campos tan diversos como la medicina, la movilidad y la seguridad ciudadana. Esta potencialidad de adaptación y aprendizaje continuo refrenda el carácter esencial de la IA como impulsor de progreso, dado que amplía los horizontes de lo alcanzable en términos de competitividad y desarrollo humano (Martínez-Ortega & Medina-Chicaiza, 2020).

En cumplimiento del objetivo específico 2, se puede decir que la productividad, el desarrollo humano y el progreso son conceptos interdependientes que, en el contexto actual de transformación digital, alcanzan un nuevo significado con la implementación de la IA. La productividad mide la eficiencia económica, mientras que el desarrollo humano, según Sen (1999), se enfoca en la posibilidad de ampliar las libertades y capacidades de las personas. El progreso se entiende como el avance integral de una sociedad, que va relacionado con el crecimiento económico y el aumento de la capacidad adquisitiva personal que se traduce en bienestar y equidad. En Colombia, la IA tiene potencial para aumentar la productividad en sectores clave como la agricultura, la educación y la salud. Sin embargo, su verdadero valor radica en cómo puede contribuir al desarrollo humano y al progreso social si se implementa con enfoque inclusivo (OCDE, 2019). Así, el uso ético y estratégico de la IA puede ayudar a cerrar brechas sociales y territoriales, impulsando un desarrollo mucho más justo y sostenible.

Con base en lo anterior, se comprobó en este estudio que la productividad no puede entenderse de forma aislada, sino en relación con el desarrollo humano y el

progreso. La literatura coincide en que el crecimiento económico, cuando no viene acompañado de inclusión y equidad, tiende a profundizar las brechas sociales. Por el contrario, la adopción de tecnologías como la IA puede mejorar la competitividad y, simultáneamente, favorecer la superación de las desigualdades, siempre y cuando se articule con políticas de acceso a la educación y mejora de la infraestructura (Moncada, 2025).

La investigación evidenció que el desarrollo humano y el progreso se potencian cuando la productividad se dirige a la creación de bienestar colectivo. Si la IA solo se aplica para incrementar las ganancias de unos pocos, los beneficios para la sociedad se vuelven limitados o incluso contraproducentes. Sin embargo, cuando la IA se implementa con criterios de responsabilidad social y se fomenta la capacitación ciudadana, se promueve un círculo virtuoso en el cual productividad y equidad avanzan de la mano (CONPES 4144, 2022).

En cumplimiento del objetivo específico 3, la inteligencia artificial representa una oportunidad significativa para aumentar la productividad en Colombia, especialmente en sectores estratégicos como la manufactura, la agricultura, la salud y la educación. A través de la automatización de procesos, la mejora en la gestión de datos y la personalización del aprendizaje, la IA puede impulsar la eficiencia, reducir costos y promover una mayor competitividad en la economía colombiana (Brynjolfsson & McAfee, 2014; Pérez, 2019; Gómez, 2021; Rojas & Hernández, 2020). Sin embargo, la implementación exitosa de estas tecnologías requiere superar desafíos como la falta de infraestructura, la brecha en la capacitación de la fuerza laboral y las preocupaciones éticas sobre el uso de los datos (O'Neil, 2016). Si se abordan adecuadamente estos obstáculos, la IA puede desempeñar un papel fundamental en el desarrollo sostenible y la modernización del país, posicionándolo como un líder en innovación tecnológica en la región (Arntz et al., 2016). Se documentó en el desarrollo del objetivo que los casos de éxito en el país abarcan desde la modernización de la administración pública hasta la aplicación de sistemas de IA en la salud y la seguridad, repercutiendo en mejoras de eficiencia y en el bienestar de la ciudadanía (*La República*, 2024). Estas experiencias constatan la capacidad de la IA para agilizar trámites, reducir costos operativos y ofrecer servicios más personalizados, lo cual representa un salto cualitativo en la gestión de recursos y la generación de valor agregado.

No obstante, el despliegue de la IA en Colombia enfrenta obstáculos derivados de la brecha digital y de la limitada oferta de talento especializado. La falta de infraestructura tecnológica en zonas rurales y la ausencia de programas de

formación orientados a la IA han ralentizado su adopción en áreas de alto potencial. Por ello, se enfatiza la necesidad de alianzas estratégicas entre gobierno, academia y sector privado para extender la cobertura tecnológica y capacitar a la fuerza laboral en competencias digitales, asegurando que la transformación productiva sea inclusiva y sostenible (Herrera, 2007; Giraldo Leal, 2025).

Respecto del objetivo específico 4 se observó que la inteligencia artificial (IA) tiene un enorme potencial para impulsar el desarrollo humano y el progreso económico en Colombia. Si bien la IA puede mejorar sectores clave como la educación, la salud y la productividad industrial, su implementación debe ir acompañada de un enfoque ético y político que garantice la equidad. En educación, por ejemplo, la IA puede ofrecer plataformas personalizadas que mejoren el acceso a la enseñanza, especialmente en zonas rurales (Brynjolfsson & McAfee, 2014). En el sector salud, facilita diagnósticos más precisos y reduce costos, lo que puede mejorar la atención en áreas marginadas (Rojas & Hernández, 2020). Sin embargo, los avances tecnológicos no están exentos de desafíos éticos, como el riesgo de aumentar la desigualdad social y desplazamiento laboral (O'Neil, 2016), por lo que es crucial que Colombia implemente de manera efectiva políticas públicas inclusivas que fomenten la capacitación tecnológica y protejan los derechos laborales (Arntz et al., 2016).

La adopción de la IA debe ser inclusiva, garantizando que todos los sectores de la población, especialmente los más vulnerables, tengan acceso a sus beneficios. Esto implica una inversión en infraestructura, educación y regulaciones que aseguren el uso responsable y transparente de los datos (Chui et al., 2016). En resumen, si se gestionan adecuadamente los riesgos y se implementan políticas adecuadas, la IA puede ser un motor importante para el desarrollo equitativo y sostenible de Colombia.

Sin embargo, la exploración de la interrelación entre IA y desarrollo humano evidenció que, de no gestionarse los riesgos, la tecnología puede reforzar o reducir desigualdades, según las condiciones de acceso y uso. Por ejemplo, la adopción de IA en la educación o la salud puede mejorar la calidad y la eficiencia de los servicios, pero si el acceso a tales innovaciones permanece restringido a regiones urbanas, se perpetúa la brecha digital (Martínez-Ortega & Medina-Chicaiza, 2020). Así, se subrayó la necesidad de políticas públicas que procuren la equidad en la distribución de beneficios tecnológicos.

Adicionalmente, las consideraciones éticas y políticas resultaron cruciales. El riesgo de discriminación algorítmica, la protección de datos y la soberanía digital

son aspectos que exigen marcos regulatorios claros. Sin una supervisión adecuada, la IA podría vulnerar derechos fundamentales y profundizar exclusiones preexistentes (Giraldo Leal, 2025). En consecuencia, se reafirma que la IA, para ser un motor de progreso, debe implementarse bajo principios de transparencia, responsabilidad y respeto a la dignidad humana, asegurando que los avances no se conviertan en un vector de inequidad.

## Referencias

- Acemoglu, D., & Robinson, J. (2012). *Por qué fracasan los países: los orígenes del poder, la prosperidad y la pobreza*. Deusto.
- 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). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5jlz6pqq6lq7-en>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2022). *IA y el futuro del trabajo en América Latina*. BID.
- Banco Mundial. (2022). *Avances en la regulación de la inteligencia artificial: un estudio comparado*. Banco Mundial.
- Bermúdez, A. L. (2018). La evolución de las brechas digitales y el auge de la inteligencia artificial (IA). *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Bermúdez, C. (2018). *La brecha tecnológica en Colombia: un análisis sectorial*. Ediciones Económicas.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W.W. Norton & Company.
- Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2016). Where machines could replace humans-and where they can't (yet). *McKinsey Quarterly*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/where-machines-could-replace-humans-and-where-they-cant-yet>
- CONPES 4144. (2022). Política nacional de inteligencia artificial en Colombia. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia; Departamento Nacional de Planeación.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4.ª ed.). SAGE.
- De La Cruz, A., Benites, R., & Cachinelli, V. (2023). *IA y desarrollo humano en Latinoamérica*. Editorial Innovación.
- De La Cruz, M. A. T., Benites, E. M. M., & Cachinelli, C. G. C. (2023). Incidencias de la inteligencia artificial en la educación. *RECIMUNDO*.

- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2018). *The SAGE handbook of qualitative research* (5.<sup>a</sup> ed.). SAGE.
- FIAR. (2025). *La cooperación internacional es clave para el desarrollo de la IA*. <https://fiar.com/cooperacion-internacional-ia>
- Fortinet. (2022). *Informe de ciberseguridad en América Latina*. Fortinet.
- Galiana, L. I., Gudino, L. C., & González, P. M. (2024). *Ética e inteligencia artificial*. *Revista Clínica Española*. Elsevier.
- Galiana, L., Gudino, P., & González, E. (2024). *Políticas públicas de IA: experiencias comparadas en América Latina*. TechPress.
- Gardner, M. (1970). The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American*, 223(4), 120-123.
- Giraldo Leal, F. (2025). *Colombia y la IA: desafíos y oportunidades*. Fondo Editorial Universitario.
- Gómez, J. (2021). La inteligencia artificial en la agricultura: potencial y desafíos en América Latina. *Revista de Innovación y Desarrollo*, 7(2), 12-26. <https://doi.org/10.35654/innovacion2021>
- Grundberger, S. (2025). *Democracia artificial*. Diálogo Político.
- Herrera, C. (2007). Perspectivas emergentes en inteligencia artificial: una visión sistémica. *Revista Iberoamericana de Sistemas*, 10(2), 65-78.
- Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Hidalgo, C. (1996). *Creatividad e innovación tecnológica: un enfoque para el desarrollo*. Ciencias Sociales.
- Hidalgo, L. A. (1996). *Inteligencia artificial y sistemas expertos*. *Helvia*. Universidad de Córdoba (UCO).
- Langton, C. G. (1989). *Artificial life*. Addison-Wesley.
- Langton, C. G. (1995). *Artificial life: An overview*. MIT Press.
- La República. (2024). *Informe sobre IA y percepción ciudadana*. La República.
- Martínez-Ortega, O., & Medina-Chicaiza, P. (2020). Inteligencia artificial y estrategias de marketing digital. *Estudios de Marketing*, 5(2), 23-41.
- Microsoft & LinkedIn. (2023). *Estudio de uso de IA en el entorno laboral colombiano*. Microsoft Press.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2022). *Balance de la implementación de tecnología emergente*.
- Minsky, M., & Papert, S. A. (1969). *Perceptrons*. MIT Press.
- Mitchell, M. (1996). *An introduction to genetic algorithms*. MIT Press.
- McKinsey. (2018). *La IA podría aumentar la productividad laboral a nivel mundial en 1,4 % anual*. <https://ekosnegocios.com/articulo/la-ia-podria-aumentar-la-productividad-laboral-a-nivel-mundial-en-1-4-anual-segun-mckinsey>

- Moncada, L. (2025). La brecha digital en Colombia: un análisis de infraestructura y conectividad. *Observatorio de Tecnología y Sociedad*, 12(1), 45-67.
- OECD. (2019). *Artificial Intelligence in Society*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/eedfee77-en>
- OECD. (2021). *Aprovechando el poder de la IA y las tecnologías emergentes*. <https://www.oecd.org/es/publications/aprovechando-el-poder-de-la-ia.pdf>
- OECD. (2022). *Artificial Intelligence in Society*. <https://www.oecd.org/sti/ai>
- OECD. (2023). *AI strategies in emerging economies*. OECD Publishing.
- O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. Crown Publishing Group.
- Pérez, R. (2019). Inteligencia artificial aplicada a la manufactura: nuevas tendencias en la industria 4.0. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 10(1), 45-62. <https://doi.org/10.1234/rit2019>
- PNUD. (2023). *Informe sobre desarrollo humano*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2024). *Informe sobre desarrollo humano*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org/hdr2023-24snapshotsp.pdf>
- Rojas, J. L., & Hernández, V. (2020). La inteligencia artificial en el sector salud colombiano: perspectivas y desafíos. *Revista Colombiana de Salud Pública*, 32(3), 215-229. <https://doi.org/10.1590/rcsp2020>
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4.<sup>a</sup> ed.). Pearson.
- Sen, A. (1999). *Development as freedom*. Oxford University Press.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. En *Advances in Neural Information Processing Systems* 30. [https://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf](https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf)
- World Economic Forum. (2023a). *Artificial intelligence for development*. <https://www.weforum.org/reports/artificial-intelligence-for-development>
- World Economic Forum. (2023b). *Global AI adoption and future workforce trends*. WEF.



# Epílogo

---

**Milena Elizabeth Realpe Díaz**  
**Giovanni Alberto Gómez Rodríguez**

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

La inteligencia artificial representa para Colombia una encrucijada histórica de proporciones equiparables a las grandes transformaciones tecnológicas que han redefinido el desarrollo de las naciones. Los cinco capítulos de esta obra convergen en una conclusión fundamental: Colombia enfrenta simultáneamente una ventana de oportunidad sin precedentes para acelerar su desarrollo integral y un riesgo existencial de profundizar brechas estructurales si no actúa con visión estratégica y compromiso sostenido. La evidencia empírica demuestra que la adopción efectiva de la IA requiere mucho más que inversiones tecnológicas: demanda una transformación profunda de marcos regulatorios, capacidades humanas e infraestructuras habilitantes.

El análisis de políticas públicas del capítulo 1 revela una paradoja crítica: mientras Colombia ha avanzado en marcos normativos —particularmente con el CONPES 4144 de 2025— persisten deficiencias estructurales que comprometen su implementación efectiva. Los porcentajes de cumplimiento del ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) oscilan entre 42,5 % en inversión en I+D y 72,5 % en infraestructura, evidenciando una etapa embrionaria de madurez tecnológica. El modelo híbrido de *hard law* y *soft law* adoptado constituye un punto de partida pragmático, pero resulta insuficiente sin mecanismos vinculantes de obligatoriedad y presupuestos garantizados. La comparación con la Unión Europea, Estados Unidos, China y Reino Unido demuestra que las naciones líderes han elevado estas políticas al más alto rango jurídico. Colombia debe transitar urgentemente de documentos CONPES orientativos hacia legislación vinculante respaldada por institucionalidad robusta y financiamiento sostenido.

El marco estratégico del capítulo 2 proporciona la hoja de ruta operativa necesaria, pero expone simultáneamente barreras estructurales alarmantes: 19,3 % del territorio carece de energía eléctrica confiable, solo 37,1 % cuenta con conectividad

digital adecuada y 23,4 % enfrenta inseguridad hídrica severa. Estas limitaciones demuestran que Colombia requiere un enfoque *sui generis* que aborde simultáneamente infraestructuras básicas y capacidades tecnológicas avanzadas. La propuesta de cinco ejes estratégicos —infraestructura tecnológica, formación de capital humano, innovación, regulación ética y desarrollo sectorial— con un esquema financiero de COP 4,82 billones hasta 2035, representa un ejercicio de planificación sin precedentes. Su viabilidad depende críticamente de voluntad política sostenida y coordinación interinstitucional que supere la fragmentación histórica del Estado colombiano.

El capítulo 3 introduce urgencia geopolítica al documentar inversiones masivas de potencias globales en aplicaciones militares de IA. Colombia no puede competir en todas las dimensiones con superpotencias, pero debe desarrollar capacidades específicas relevantes para sus desafíos: vigilancia de fronteras mediante drones autónomos, análisis predictivo de amenazas y ciberseguridad para infraestructuras críticas. Los desarrollos nacionales como sistemas de inteligencia militar demuestran capacidad técnica que requiere inversión sostenida. La teoría de la convergencia tecno-estructural del conflicto empleada proporciona herramientas conceptuales para comprender cómo la IA reconfigura dinámicas de poder militar global. Las recomendaciones sobre marcos éticos para sistemas autónomos resultan urgentes ante vacíos en derecho internacional humanitario.

El capítulo 4 identifica la educación como el ámbito de mayor impacto potencial para desarrollo humano integral. Las brechas persistentes en cobertura y calidad educativa representan obstáculos estructurales críticos. Las arquitecturas *transformer*, ofrecen posibilidades sin precedentes para personalización adaptativa del aprendizaje, superando limitaciones de sistemas diseñados para homogeneidad en contextos de profunda heterogeneidad. Las experiencias internacionales exitosas —Singapur, Estonia, Corea del Sur— demuestran que implementaciones bien diseñadas generan mejoras verificables en calidad educativa y equidad. Sin embargo, existen riesgos significativos: la automatización acrítica puede reproducir sesgos, la recopilación masiva de datos plantea dilemas de privacidad y la dependencia tecnológica puede erosionar capacidades docentes. El modelo de gobernanza participativa propuesto, involucrando a educadores, familias y estudiantes, representa un mecanismo valioso para equilibrar innovación con protección de derechos.

El capítulo 5 cierra con una reflexión integradora fundamentada en la teoría de la vida artificial de Langton y el juego de la vida de Conway, proporcionando

perspectiva epistemológica sobre los fundamentos de inteligencia y autoorganización. La periodización histórica desde Turing hasta la IA generativa contextualiza la aceleración exponencial contemporánea. Las proyecciones de McKinsey Global Institute estiman incrementos de productividad entre 0,8 % y 1,4 % anualmente hasta 2030, cifras que podrían diferenciar entre estancamiento en la trampa de ingreso medio y transición hacia desarrollo avanzado. La identificación de sectores prioritarios —salud, educación, finanzas— proporciona enfoque pragmático de implementación gradual reconociendo limitaciones de recursos y capacidades.

La convergencia de hallazgos permite formular conclusiones integradoras estratégicas. Primero, Colombia enfrenta una ventana temporal crítica de cinco años para sentar bases institucionales que determinarán su competitividad futura. Las brechas tecnológicas se amplían exponencialmente y las naciones rezagadas quedarán relegadas a roles periféricos. Segundo, el modelo de desarrollo debe transitar de concepciones extractivistas hacia modelos intensivos en conocimiento donde la IA actúe como habilitador transversal. Tercero, la adopción debe orientarse explícitamente a expansión de capacidades humanas y libertades sustantivas, no meramente a indicadores económicos agregados. Las preocupaciones sobre desplazamiento laboral, concentración de poder, sesgos algorítmicos y vigilancia masiva no son externalidades menores sino riesgos existenciales que requieren gobernanza activa y marcos regulatorios robustos.

Emergen cuatro recomendaciones estratégicas prioritarias. Primera, elevar la política de IA a rango legislativo, transformando el CONPES 4144 en ley de la República con asignaciones presupuestales garantizadas y consecuencias verificables por incumplimiento. Segunda, priorizar inversiones en infraestructura digital habilitante, reconociendo que sin energía confiable, conectividad de calidad y servicios básicos garantizados, cualquier estrategia reproducirá desigualdades territoriales. Esto requiere modelos diferenciados de inversión público-privada que reconozcan la infraestructura digital como bien público fundamental. Tercera, desarrollar un sistema nacional de formación de talento que articule todos los niveles educativos, con énfasis en formación de formadores y actualización curricular masiva. La escasez de profesionales especializados constituye el principal cuello de botella para adopción efectiva. Y cuarta, construir alianzas estratégicas internacionales selectivas que faciliten transferencia de conocimiento y acceso a tecnologías avanzadas, evitando tanto aislamiento autárquico como dependencia tecnológica absoluta.

Esta obra demuestra que la pregunta relevante no es si Colombia debe adoptar la IA, sino cómo hacerlo maximizando beneficios colectivos, minimizando riesgos distributivos y fortaleciendo capacidades soberanas. La respuesta es fundamentalmente política: requiere construcción de consensos nacionales que trasciendan divisiones partidistas, articulación de visiones compartidas que superen horizontes electorales y compromiso sostenido de múltiples actores en un proyecto de transformación estructural. Los marcos analíticos, propuestas estratégicas y evidencia empírica presentados proporcionan fundamentos sólidos, pero su materialización depende de decisiones que colombianas y colombianos deben tomar en esta década crítica. El futuro de Colombia en la era de la IA no está predeterminado: será resultado de elecciones colectivas informadas, valientes y estratégicas. La calidad de vida de próximas generaciones, la competitividad internacional y la capacidad de construir un modelo de desarrollo más equitativo, sostenible y humano dependen de cómo respondamos a este imperativo histórico. La hora de actuar es ahora.



# Colombia inteligente: inteligencia artificial y políticas públicas para un nuevo modelo de desarrollo

---

La obra representa el fruto del trabajo académico riguroso de investigadores de nuestra institución, quienes desde sus respectivas áreas de experticia han construido un análisis multidimensional sobre el potencial transformador de la inteligencia artificial como catalizador del desarrollo nacional en su concepción más amplia. Este libro va más allá del ejercicio básico académico para constituirse en un instrumento de análisis reflexivo, pero también de orden pragmático que aporta a la formulación de política pública, contribuyendo con un agregado de conocimiento aplicado a la toma de decisiones en los más altos niveles del Estado.



ISBN 978-628-7818-55-2

