

Hoja de Ruta Para el Desarrollo y Aplicación de la Inteligencia Artificial en Colombia

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación
Febrero de 2024

Yesenia Olaya Requene
Ministra Ciencia, Tecnología e Innovación

María Camila Díaz Casas
Viceministra de Talento y Apropiación Social del Conocimiento

Carlos Alberto Chinchilla Imbett
Viceministro de Conocimiento, Innovación y Productividad

Claudia Consuelo Cepeda
Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación

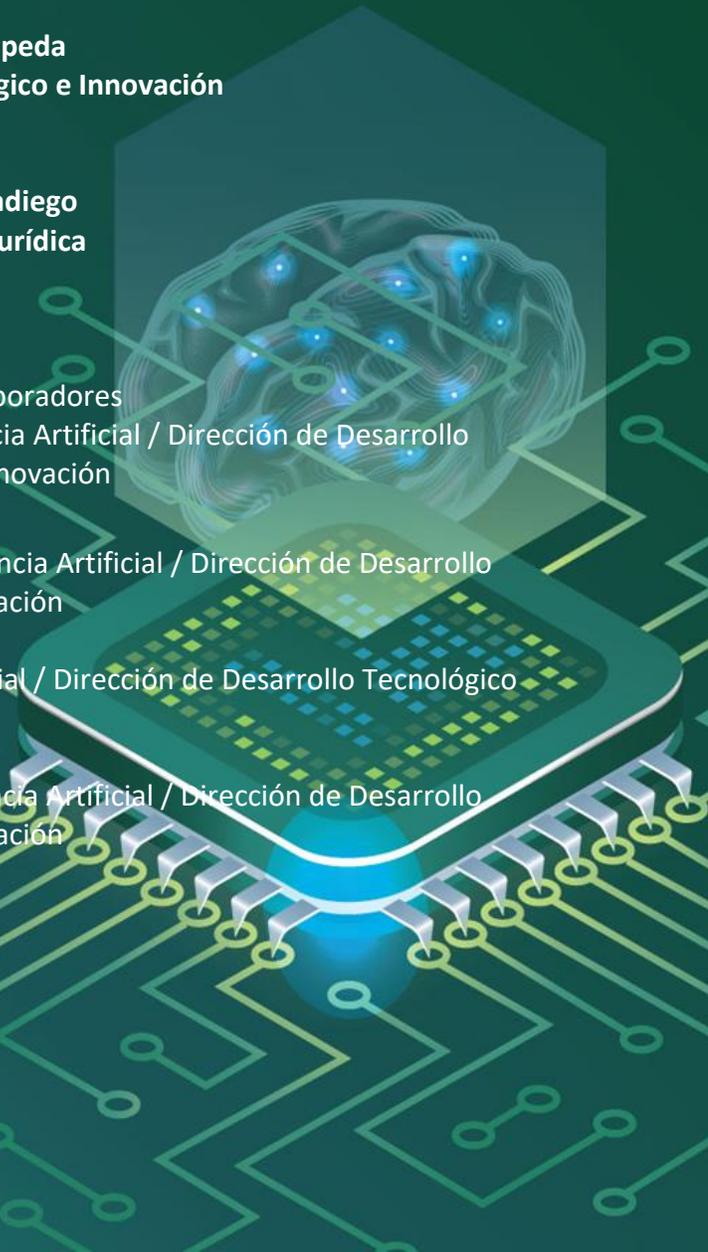
Carolina Álvarez Casadiego
Jefe Oficina Asesora Jurídica

Equipo de trabajo / Colaboradores
Emiro Javier Tovar Martínez, Líder Equipo Inteligencia Artificial / Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación

Julián Fernando Muñoz Ordóñez, Especialista Inteligencia Artificial / Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación

Ana María Cely Sánchez, Especialista Inteligencia Artificial / Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación

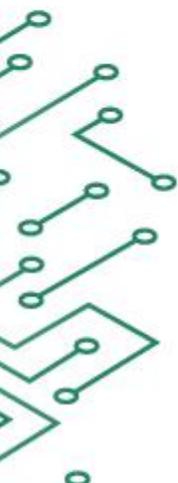
Alba María Ramírez Marquinez, Especialista Inteligencia Artificial / Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
COLABORACIÓN Y METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE HOJA DE RUTA	8
ETAPAS DE LA METODOLOGÍA	8
PARTES INTERESADAS	8
DEFINICIÓN DEL ALCANCE PARA LA ADOPCIÓN ÉTICA Y SOSTENIBLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	4
ADOPCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	4
ÉTICA EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	6
SOSTENIBILIDAD EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	7
¿POR QUÉ LA ADOPCIÓN ÉTICA Y SOSTENIBLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL? SITUACIÓN GLOBAL Y DESAFÍOS ACTUALES.....	7
COMPROMISO CON LA TRANSICIÓN ÉTICA Y SOSTENIBLE	13
LÍNEA BASE: ¿POR QUÉ LA ADOPCIÓN ÉTICA Y SOSTENIBLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN COLOMBIA?.....	17
VENTAJAS COMPETITIVAS PARA LA ADOPCIÓN ÉTICA Y SOSTENIBLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN COLOMBIA	25
FOCOS CRÍTICOS PARA LA ADOPCIÓN ÉTICA Y SOSTENIBLE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN COLOMBIA	28
<i>Ética y Gobernanza</i>	32
TRANSPARENCIA ALGORÍTMICA	34
<i>Educación, Investigación e Innovación</i>	35
<i>Datos y Organizaciones</i>	37
<i>Industrias Innovadoras y Emergentes</i>	38
<i>Privacidad, Ciberseguridad y Defensa</i>	40
RETO Y MISIÓN.....	47
RETO	49
MISIÓN	49
RUTAS INNOVACIÓN.....	51
FOCOS DE INNOVACIÓN Y NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA (TRL) PARA IA	51
DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA	63
OBJETIVO GENERAL.....	63
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	63
PLAN DE ACCIÓN.....	64
<i>Rutas para Entorno Ética y Gobernanza</i>	64
<i>Rutas para Entorno Educación, Investigación e Innovación</i>	65
<i>Rutas para Entorno Datos y Organizaciones</i>	66
<i>Rutas para Entorno Industrias Innovadoras y Emergentes</i>	66
<i>Rutas para Entorno Privacidad, Ciberseguridad y Defensa</i>	66

MECANISMOS DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	67
<i>Mecanismos de Seguimiento</i>	67
<i>Mecanismos de Evaluación</i>	68
REFERENCIAS	69



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Puntaje para subdimensiones de Gobernanza.</i>	33
Figura 2 <i>Nivel de Madurez de Inteligencia Artificial en Colombia</i>	40



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Vinculación de interesados por categoría	1
Tabla 2 Vinculación de expertos en la retroalimentación de la hoja de ruta.	1
Tabla 3 Identificación de riesgos asociados al cambio climático y el desafío con la aplicación de la inteligencia artificial	45
Tabla 4 Identificación de riesgos asociados al medio ambiente y el desafío con la aplicación de la inteligencia artificial	46
Tabla 5 Identificación de problemas, objetivos y énfasis de las rutas de innovación	49
Tabla 6 Ética y Gobernanza IA: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.....	53
Tabla 7 Educación, Investigación e Innovación: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.	55
Tabla 8 Datos y Organizaciones: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica. ...	57
Tabla 9 Industrias Innovadoras y Emergentes: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.	59
Tabla 10 Privacidad, Ciberseguridad y Defensa: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.	61

Introducción

La transformación digital se presenta como un imperativo en el siglo XXI, con el propósito fundamental de mejorar la calidad de vida y la productividad tanto a nivel individual como organizacional. En este contexto, la adopción ética y sostenible de la inteligencia artificial (IA) en Colombia se erige como un desafío clave y, al mismo tiempo, como una oportunidad para catalizar un cambio de mentalidad en diversos sectores.

La adopción de tecnologías avanzadas, como la robótica y la inteligencia artificial, ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años, especialmente en el ámbito empresarial y las economías industrializadas. En Colombia, la necesidad de adoptar la IA se presenta como una respuesta estratégica para mejorar la productividad, diseñar nuevos modelos de negocios y potenciar la toma de decisiones en un mundo cada vez más digital.

A pesar de los potenciales beneficios económicos y empresariales asociados con la adopción de tecnologías de IA, se evidencia una brecha significativa entre países, siendo América Latina, parte de aquellos rezagados en este aspecto. La Séptima Conferencia Ministerial sobre la Sociedad de la Información de América Latina y el Caribe destaca el peso económico aún limitado del ecosistema digital en la región, subrayando la necesidad de abordar desafíos específicos para impulsar la adopción tecnológica.

La adopción ética y sostenible de la IA en Colombia está intrínsecamente vinculada a varios factores interdependientes. La disposición de las empresas para abrazar la transformación digital, la infraestructura tecnológica y las políticas gubernamentales que respalden la innovación y regulen éticamente la implementación de la IA son elementos cruciales. Además, se destaca la necesidad de una perspectiva global que fomente la colaboración internacional para abordar cuestiones éticas y sostenibles asociadas con la inteligencia artificial.

La implementación de la inteligencia artificial en Colombia presenta desafíos sociales significativos que deben enfrentarse para garantizar una adopción ética y sostenible. La brecha digital, la posible pérdida de empleos debido a la automatización y la preocupación por la privacidad de los datos son consideraciones clave. Abordar estos problemas es esencial para asegurar que la IA beneficie a todos los sectores de la sociedad de manera equitativa.

El compromiso con la transición ética y sostenible implica que Colombia no solo adopte tecnologías avanzadas, sino que lo haga de manera responsable y consciente de los impactos sociales y ambientales. Incorporar principios éticos en el desarrollo y aplicación de la IA es crucial para garantizar que los beneficios económicos se alineen con valores éticos y sostenibles, y para adaptar constantemente las estrategias empresariales y gubernamentales en concordancia con estos principios.

Colaboración y Metodología para el Diseño de Hoja de Ruta

Etapas de la Metodología

El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación ha orientado sus esfuerzos en la implementación de la hoja de Inteligencia Artificial, en adelante (IA), la cual se encuentra centrada en las Políticas de Investigación e Innovación Orientadas por Misiones (PIIOM). La iniciativa ha sido impulsada a partir de las recomendaciones realizadas por la Misión Internacional de Sabios en 2020, el CONPES 3975 de 2019 y la OCDE IA de 2022, donde se busca potenciar la generación de valor social y económico del país, bajo principios de la adopción y sostenibilidad al implementar la Inteligencia Artificial.

Teniendo como base la Guía metodológica para el diseño de hojas de ruta de PIIOM (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2023), con el liderazgo de Minciencias se ha construido la hoja de ruta para el desarrollo y aplicación de la inteligencia artificial en Colombia. Esta construcción se basó en un proceso de cocreación y codiseño con la participación de actores públicos y privados de diferentes sectores y de la sociedad civil, teniendo en cuenta las siguientes etapas:

- **Definición de alcance:** definición de un reto y misión comprometiéndolo a los tomadores de decisiones.
- **Línea Base:** análisis de la situación actual de la Inteligencia Artificial e identificación de la evidencia tecnológica y científica.
- **Visión y Metas:** a través de la cocreación de una visión colaborativa se establecen las metas y objetivos de la misión.
- **Rutas de Innovación:** se seleccionan las rutas de innovación que aportarán para lograr la misión y cumplir los objetivos.
- **Rutas de Política:** se realiza el codiseño del mapa de políticas orientadas por misiones, donde se orienta la creación de un plan de acción para implementar la misión y un esquema de gobernanza.
- **Aprendizaje de la Política:** a medida que avanza la hoja de ruta se establecen mecanismos de aprendizaje continuo y de reflexión sobre la marcha para que la hoja de ruta se implemente de manera efectiva.

Partes Interesadas

En la Tabla 1, se presenta el mapa de los posibles actores y aportes conforme a los entornos de Inteligencia Artificial (IA) en Colombia:

Categoría	Actores	Posibles Aportes	Entorno IA	Interesados
Sector Académico				Superintendencia de Industria Y Comercio a través de la Delegatura para la Protección de Datos Personal
	Investigadores.	Currículos en IA.		Ministerio de Educación.
	Instituciones de Educación Superior.	de Expertos y asesoramiento en ambientes en IA.		Universidades, grupos de investigación e investigadores reconocidos por MinCiencias.
	Centros o institutos de investigación autónomos o dependientes.	Proyectos en IA en I+D+I. Convenios internacionales.	Educación, Investigación e Innovación	Empresas y la Industria Emprendedores. Organizaciones sin fines de lucro. Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
	Centros de desarrollo tecnológico autónomos o dependientes.	Implementación de sistemas en IA en el sector educativo en Colombia.		Incubadoras de empresas de base tecnológica.
	Sociedades científicas.	Ambientes Deep Tech en IA.		Centros de Ciencia. Instituciones de Educación Superior extranjeras. Secretarías de Educación.
Infraestructuras De Soporte (Interfaz)	Oficinas Transferencia Resultados Investigación.	de de de Experticia en incubación, aceleración y crecimiento de base tecnológica en IA.		

Categoría	Actores	Posibles Aportes	Entorno IA	Interesados
	Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica.	de Generación de metodologías y modelos en IA en IoT.		
	Parques científicos y tecnológicos.	Aplicación de las metodologías e Industria 5.0 en sistemas en IA.		
	Centros de Innovación y productividad.	Aplicación de modelos de ciberseguridad en ambientes y sistemas en IA.		
		Ambientes Deep Tech en IA.		
Sector Productivo	Empresas (Gran empresa y Mipymes), sectores primario, secundario y terciario. Entidades Articuladoras tales como Entidades Públicas, Cámaras de Comercio y Organizaciones sin Ánimo de Lucro (Asociaciones Corporaciones, Fundaciones, Agremiaciones y Organizaciones solidarias de Desarrollo).	Validación precomercial y comercial de prospectos de nuevas tecnologías en IA. Desarrollo Comercial e Industrial en sistemas y ambientes en IA. Aplicación de la IA Explicable en las empresas e industrias. Ambientes Deep Tech en IA. Adaptación y fortalecimiento de la Gobernanza en el Sistema De Administración Del Territorio con sistemas en IA.	Datos y Organizaciones	Gobierno y Reguladores. Empresas Tecnológicas. Asesores Jurídicos. Consumidores y Ciudadanos Bancos de Datos y Proveedores de Datos. Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Incubadoras de empresas de base tecnológica. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
Sector Financiero	Fondos que financian investigación.	Aporte de capital privado para la creación de nuevas empresas de base tecnológica en IA, la		Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Categoría	Actores	Posibles Aportes	Entorno IA	Interesados
	<p>Fondos públicos de capital de riesgo.</p> <p>Bancos de desarrollo nacionales y regionales</p> <p>Fondos de capital de riesgo privados.</p> <p>Fondos de innovación de la banca privada.</p> <p>Alianzas de capital Privado y Público.</p> <p>Otros.</p>	<p>implementación de nuevos modelos de negocio y la aceleración del crecimiento de empresas de base tecnológica en IA.</p> <p>Inversión de proyectos de industria 4.0 y 5.0 con IA.</p> <p>Beneficios tributarios en proyectos y sistemas en IA.</p>	<p>Industrias Innovadoras y Emergentes</p>	<p>Empresas Manufactureras.</p> <p>Instituciones de Investigación.</p> <p>Inversionistas y Fondos de Capital Riesgo.</p> <p>Cámaras de Comercio y Asociaciones Industriales.</p> <p>Centros de investigación y desarrollo tecnológico. Incubadoras de empresas de base tecnológica.</p> <p>Bancos de desarrollo nacionales, regionales e internacionales.</p> <p>DIAN.</p> <p>Alianzas de capital Privado y Público.</p>
<p>Organizaciones Para El Fomento Del Uso Y Apropiación De La CTel</p>	<p>Centros de ciencia.</p> <p>Otras organizaciones.</p>	<p>Fortalecimiento de la cultura Ctel en ambientes en IA en Colombia.</p> <p>Generación de sinergias entre sectores académicos, productivos, estatales, comunidades y grupos culturales de la sociedad civil en ambientes en IA.</p>	<p>Industrias Innovadoras y Emergentes</p>	<p>Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.</p> <p>Empresas Manufactureras.</p> <p>Instituciones de Investigación.</p> <p>Inversionistas y Fondos de Capital Riesgo.</p> <p>Cámaras de Comercio y Asociaciones Industriales.</p>

Categoría	Actores	Posibles Aportes	Entorno IA	Interesados
				<p>Centros de investigación y desarrollo tecnológico. Incubadoras de empresas de base tecnológica.</p> <p>Bancos de desarrollo nacionales, regionales e internacionales.</p> <p>DIAN.</p> <p>Alianzas de capital Privado y Público.</p>
Sociedad Civil	<p>Autoridades tradicionales de Resguardos indígenas.</p> <p>Consejos comunitarios de comunidades negras.</p> <p>Grupos étnicos Rom o gitano.</p> <p>Comunidades campesinas.</p> <p>Movimientos de la sociedad civil.</p> <p>Organizaciones de base comunitaria.</p>	<p>Participación en la identificación de problemas, propuestas de soluciones, monitoreo y evaluación de políticas y programas, retroalimentación y mejora continua en ambientes en IA.</p> <p>Potencializar los datos para prevenir el sesgo de los diferentes grupos de la sociedad civil en las tecnologías emergentes y ambientes en IA.</p> <p>Ambientes Deep Tech en IA.</p>	Industrias Innovadoras y Emergentes	<p>Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.</p> <p>Empresas Manufactureras.</p> <p>Instituciones de Investigación.</p> <p>Inversionistas y Fondos de Capital Riesgo.</p> <p>Cámaras de Comercio y Asociaciones Industriales.</p> <p>Centros de investigación y desarrollo tecnológico. Incubadoras de empresas de base tecnológica.</p> <p>Bancos de desarrollo nacionales, regionales e internacionales.</p> <p>DIAN.</p>

Categoría	Actores	Posibles Aportes	Entorno IA	Interesados
	<p>Organizaciones de consumidores.</p> <p>Artistas.</p> <p>Ciudadanía.</p> <p>Otros grupos u organizaciones de ciudadanos/as.</p>			Alianzas de capital Privado y Público.
Entidades Internacionales	<p>Instituciones de Educación Superior extranjeras</p> <p>Centros de investigación, innovación y desarrollo tecnológico en IA</p> <p>Agencias de cooperación nacionales o multilaterales</p> <p>Instituciones financieras internacionales, en donde su posible aporte sería: Financiamiento, asesoramiento técnico, transferencia de conocimientos, evaluación y monitoreo</p>	<p>Infraestructura para investigación en ambientes en IA.</p> <p>Asesoría técnica, capital relacional científico y políticas públicas de CTel en ambientes en IA.</p> <p>Capacidad de generar nuevos modelos de negocio a nivel local e internacional en ambientes en IA.</p> <p>Compromiso con la inversión en ambientes en IA en Colombia.</p> <p>Ambientes Deep Tech en IA.</p>	Industrias Innovadoras y Emergentes	<p>Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.</p> <p>Empresas Manufactureras.</p> <p>Instituciones de Investigación.</p> <p>Inversionistas y Fondos de Capital Riesgo.</p> <p>Cámaras de Comercio y Asociaciones Industriales.</p> <p>Centros de investigación y desarrollo tecnológico. Incubadoras de empresas de base tecnológica.</p> <p>Bancos de desarrollo nacionales, regionales e internacionales.</p> <p>DIAN.</p>

Categoría	Actores	Posibles Aportes	Entorno IA	Interesados
	de proyectos y programas Otros.			Alianzas de capital Privado y Público.

La hoja de ruta ha sido refinada a través de un proceso de retroalimentación, facilitando su cocreación mediante consultas a expertos especializados en inteligencia artificial en los cinco entornos identificados. Además, se ha buscado la opinión de entidades del sector público y de la sociedad civil, con el objetivo de aprovechar sus valiosas aportaciones para perfeccionar el documento. Los expertos que dieron sus comentarios, sugerencias y aportes a la hoja de ruta están relacionados en la Tabla 2.

Tabla 2

Vinculación de expertos en la retroalimentación de la hoja de ruta.

Experto	Sector	Entorno IA
Francisco Herrera Triguero	Academia	Ética y Gobernanza Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Laura Lucía Cagua Gamboa	Academia	Ética y Gobernanza Educación, Investigación e Innovación
Carlos Alberto Cobos Lozada	Academia	Ética y Gobernanza Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones
Fabio González Osorio	Academia	Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Juan Carlos Vidal Rojas	Academia	Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Ricardo Zambrano Segura	Academia	Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Andrés Aguilera Castillo	Academia	Ética y Gobernanza Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Juan David Gutiérrez Rodríguez	Academia	Ética y Gobernanza Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones

Experto	Sector	Entorno IA
Andrés Rojas Pastor	Privado	Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Helder Yesid Castrillón Cobo	Privado	Educación, Investigación e Innovación Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Nicolás Oliveras Mercado	Privado	Datos y Organizaciones
Leonardo Alfredo Ordóñez Lozano	Público	Ética y Gobernanza Datos y Organizaciones
Carlos Enrique Salazar Muñoz	Público	Ética y Gobernanza Datos y Organizaciones Ciberseguridad, Privacidad y Defensa
Javier Alfonso Lesmes Patiño	Público	Ética y Gobernanza Datos y Organizaciones Industrias Innovadoras y Emergentes
Jesús Gabriel Ariza Cera	Público	Ética y Gobernanza
Ana Lucía Caicedo Laurido	Público	Ciberseguridad, Privacidad y Defensa

La hoja de ruta tuvo la participación de representantes de entidades claves, entre las cuales se incluyen:

- Presidencia de la República
- Cancillería, Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia
- Departamento Nacional de Planeación (**DNP**) de Colombia
- Ministerio de Educación Nacional (**MinEducación**) de Colombia
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (**MinTIC**) de Colombia
- Dirección de Capacidades y Apropiación del Conocimiento (**MinCiencias**)
- Dirección de Desarrollo Tecnológico e Innovación (**MinCiencias**)
- Dirección de Ciencias (**MinCiencias**)
- Dirección de Vocaciones y Formación (**MinCiencias**)
- Dirección de Gestión de Recursos para la CTel (**MinCiencias**)
- Cámara Colombiana de Informática y Telecomunicaciones (**CCIT**)
- Asociación Latinoamericana de Internet (**ALAI**)

Estas instituciones ofrecieron valiosos comentarios que contribuyeron significativamente a la retroalimentación y perfeccionamiento del documento. Sus aportes abarcaron los diversos entornos delineados en la hoja de ruta, consolidando así una visión más completa y sólida.

La hoja de ruta fue sometida a un proceso de consulta ciudadana, donde se interpeló a los ciudadanos sobre la pertinencia de la misión, los problemas identificados, los objetivos que la hoja de ruta busca abordar, así como la probabilidad e impacto en la ejecución de las rutas de innovación para lograr dicha misión. La retroalimentación se obtuvo de 73 personas que representan diversos sectores de la sociedad, garantizando una amplia diversidad en términos de género, estudios académicos, profesión y nivel de experiencia en temas de inteligencia artificial. Esta muestra también asegura una representación adecuada de estas opiniones en los distintos entornos. A continuación, se presentan las estadísticas recopiladas de la población participante en la consulta ciudadana:

- Con respecto al nivel de escolaridad: Secundaria (1.4%), Universitaria (20.5%), Especialización (9.6%), Maestría (38.4%), Doctorado (21.9%) y Postdoctorado (8.2%).
- Con respecto al sexo: Mujer (24.7%), Hombre (74%), Otro (1%).
- Con respecto a discapacidad: Intelectual (1%), Ninguna (99%).
- Con respecto a grupo étnico: Indígena (1.4%), Población negra (1.4%), Afrocolombiano (1.4%), Afrodescendiente (2.8%), Raizal (1.4%), Ningún grupo étnico (91.5%).
- Referente al nivel reportado de experticia por parte de los ciudadanos con respecto a los entornos planteados en la hoja de ruta y teniendo en cuenta que se pueden escoger uno o varias opciones: Ética y Gobernanza (39.7%), Educación, Investigación e Innovación (79.5%), Datos y Organizaciones (32.9%), Industrias Innovadoras y Emergentes (34.2%), Privacidad, Ciberseguridad y Defensa (19.2%).
- Con respecto al sector representado: Academia (57.5%), Sector privado, gremios y empresas (24.7%), Organizaciones de la sociedad civil (4.1%), Ciudadanía, incorporando enfoque diferencial (1.4%), Entidades públicas, servidores y contratistas del Estado (11%), Organización mixta y técnica (1.4%).

Las retroalimentaciones recopiladas de la ciudadanía han posibilitado la obtención de opiniones, comentarios y sugerencias técnicas, así como propuestas de nuevas rutas de innovación, con el objetivo de mejorar el documento de la hoja de ruta. Es importante señalar que desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación se busca que este documento sea dinámico, o lo que se podría denominar un "documento vivo". Esto implica la posibilidad de mejorarlo, evaluarlo y ajustarlo continuamente, adaptándose a la rápida dinámica del campo de la inteligencia artificial y a los nuevos ámbitos de aplicación que puedan surgir a lo largo de la hoja de ruta y del tiempo establecido para alcanzar la misión planteada en este documento.

Definición del Alcance para la Adopción Ética y Sostenible de la Inteligencia Artificial

La hoja de ruta aborda tres aspectos cruciales con respecto a la inteligencia artificial: adopción, ética y sostenibilidad. A continuación, se proporciona una descripción detallada de estos tres pilares fundamentales que se desarrollarán en la hoja de ruta.

Adopción de la Inteligencia Artificial

La adopción tecnológica se refiere al proceso de aceptación, integración y uso de nuevas tecnologías en diversos entornos, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, la productividad y los procesos que impactan a la sociedad. Este proceso implica la incorporación de sistemas informáticos, software y conectividad para construir mejores condiciones entre los actores de la sociedad. La implementación de la adopción tecnológica se lleva a cabo identificando oportunidades en empresas, organizaciones o instituciones, buscando herramientas disponibles, analizando soluciones que cumplan objetivos y satisfagan necesidades específicas, seleccionando proveedores beneficiosos y flexibles, implementando sistemas y programas, comunicando y capacitando a las personas para que comprendan y aprovechen los beneficios de estas tecnologías. La adopción tecnológica tiene diversas implicaciones en distintos entornos, como el gobierno, donde el uso de herramientas TIC facilita el acceso a recursos gubernamentales y mejora la eficiencia en la prestación de servicios. Para promover la adopción tecnológica en el gobierno, se deben crear regulaciones que protejan datos y garanticen la accesibilidad y la ciberseguridad, generar competencias digitales en la población y mejorar servicios públicos prioritarios. En las empresas, la adopción tecnológica favorece la eficiencia, el ahorro, el cumplimiento de metas y la productividad, siendo esencial para la transformación digital y la competitividad en el mercado. Factores clave en la adopción tecnológica empresarial incluyen la claridad de objetivos estratégicos, el equilibrio entre operación e implementación, la medición del impacto y la consideración de la cultura organizacional. A nivel social, la tecnología es esencial para el desarrollo, facilitando el acceso a información, agilizando el aprendizaje y simplificando tareas diarias. Sin embargo, factores como el acceso y asequibilidad a recursos tecnológicos, la brecha generacional, el desinterés, la falta de flexibilidad y la falta de conocimiento pueden influir en la adopción tecnológica a nivel individual (Farca Amigo, 2022).

Desde el punto de vista del Gobierno, la adopción de la inteligencia artificial (IA) se refiere al proceso en el cual los gobiernos incorporan y utilizan sistemas de inteligencia artificial en sus operaciones y políticas. En este contexto, la importancia de la participación pública en la adopción de sistemas de inteligencia artificial por parte de los gobiernos destaca la necesidad de reflexionar sobre quiénes conforman el público objetivo. Clasificar a estos públicos influye en las suposiciones y en las posibilidades atribuidas a su capacidad para contribuir a la formulación de políticas o a la producción de conocimiento en el ámbito de la inteligencia artificial. La comprensión y clasificación de estos públicos son fundamentales, ya que impactan directamente en la forma en que la inteligencia artificial se integra en las políticas gubernamentales y en la sociedad en general (Sieber et al., 2024).

Se han impulsado diversas iniciativas para respaldar la adopción de la inteligencia artificial en el sector público (Gutiérrez, Muñoz-Cadena, & Castellanos-Sánchez, 2023). Entre ellas, destaca la creación de una base de datos que funciona como un repositorio de sistemas de decisión automatizada (SDA) implementados en el sector público colombiano. Este conjunto de datos caracteriza 113 sistemas computacionales utilizados para automatizar los procesos de toma de decisiones en entidades públicas colombianas o para brindar apoyo en dichos procesos. La base de datos incluye información detallada sobre cinco componentes clave:

- Información básica sobre cada uno de los 113 SDA, que abarca aspectos como el nombre del sistema o proyecto, detalles sobre la entidad pública que lo implementa, objetivos principales, estado actual del sistema, entre otros.
- Preguntas detalladas sobre el tipo de información que requiere cada sistema, incluyendo el uso de datos personales.
- Detalles sobre el financiamiento del proyecto, incluyendo el financiador o financiadores, así como las cuantías y la procedencia de los recursos.
- Clasificación del SDA conforme al tipo de sistema según los criterios de la OCDE y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Información sobre las fuentes primarias y secundarias utilizadas para documentar cada sistema.

La construcción de esta base de datos implicó la recopilación de más de 300 fuentes de información, que incluyen bases de datos y repositorios públicos existentes, así como información primaria proveniente de informes de gestión anual de entidades públicas, reportes de prensa, páginas web y redes sociales. Se consultaron también fuentes secundarias como literatura académica, documentos de organizaciones multilaterales y de la sociedad civil, información periodística y datos publicados por empresas (Gutiérrez & Muñoz-Cadena, 2023).

Desde el punto de vista de las organizaciones la adopción hace referencia al proceso mediante el cual las organizaciones incorporan y utilizan nuevas y avanzadas tecnologías en sus operaciones y sistemas de producción. En específico, la adopción de tecnologías como la inteligencia artificial ha transformado significativamente las redes de cadena de suministro, la gestión operativa y los sistemas de producción de las empresas. La integración de la inteligencia artificial con otras tecnologías existentes permite comprender los patrones comerciales de una empresa. Se observa un cambio paradójico en los sistemas de gestión operativa y producción debido a las diversas aplicaciones de la inteligencia artificial, como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo y el procesamiento del lenguaje natural. Estas tecnologías avanzadas, junto con la IoT, drones y chatbots, han permitido optimizar operaciones internas, mejorar la eficiencia logística, fortalecer las relaciones con los trabajadores del transporte, proveedores y clientes, y automatizar procesos comerciales. Además, se destaca que, en situaciones impredecibles, estas tecnologías de vanguardia son consideradas fundamentales para superar desafíos y mantener la eficiencia operativa y el flujo de producción sin obstáculos (Chatterjee et al., 2023).

La adopción de estas tecnologías avanzadas (Inteligencia Artificial) tiene el potencial de actuar como recursos cognitivos complementarios o sustitutos de los recursos humanos tradicionales para acelerar las funciones comerciales. Sin embargo, en el contexto de microempresas con menos de 10 empleados, la adopción tecnológica puede presentar barreras debido a limitaciones financieras, humanas y organizativas. Las microempresas pueden experimentar tasas de adopción tecnológica más bajas en comparación con empresas más grandes en términos de costo-beneficio, percepciones de altos costos y dificultades para valorar los beneficios potenciales (Nafizah et al., 2024). Esta hoja de ruta busca ayudar a Colombia y en términos generales a las organizaciones a lograr una adopción Ética y Sostenible de la IA.

Ética en la Inteligencia Artificial

La ética en la inteligencia artificial, según IBM (2023), se refiere a un conjunto de principios morales y pautas que guían el diseño y los resultados de los sistemas de inteligencia artificial (IA). La ética en la IA es esencial para abordar los desafíos éticos asociados con el uso de algoritmos y sistemas automatizados en la toma de decisiones. Dado que los seres humanos pueden tener sesgos cognitivos que se reflejan en los datos utilizados para entrenar algoritmos de aprendizaje automático, la ética en la IA busca mitigar y corregir estos sesgos para evitar resultados injustos y discriminación. Con el auge del big data y la automatización basada en datos, las empresas buscan mejorar sus resultados comerciales, pero a menudo enfrentan consecuencias no previstas debido a la falta de investigación inicial y conjuntos de datos sesgados. La ética en la IA se ha vuelto crucial para abordar estos problemas y garantizar que los algoritmos sean justos, transparentes y respetuosos de los derechos humanos y las libertades civiles. Para diseñar experimentos y algoritmos que respeten estos derechos humanos se deben considerar los principios fundamentales para la ética de la inteligencia artificial, basados en el Informe Belmont, son:

Respeto a las personas: Este principio reconoce la autonomía de las personas y destaca la importancia del consentimiento informado. Se enfoca en proteger a aquellos con autonomía disminuida debido a circunstancias como enfermedades, discapacidades mentales, restricciones de edad, entre otras. Las personas deben ser conscientes de los riesgos y beneficios potenciales de cualquier experimento y deben tener la capacidad de elegir participar o retirarse en cualquier momento.

Beneficencia: Inspirado en la ética de la atención médica, este principio refleja la idea de "no hacer daño". En el contexto de la inteligencia artificial, se refiere a la responsabilidad de los algoritmos de no causar daño y de mejorar un sistema específico. Este principio busca evitar la amplificación de sesgos relacionados con la raza, género, inclinaciones políticas, entre otros, a pesar de las intenciones positivas.

Justicia: Este principio se centra en cuestiones de imparcialidad y equidad en el uso de la inteligencia artificial. Aborda la distribución justa de beneficios y cargas, considerando aspectos como la equidad, las necesidades individuales, el esfuerzo individual, la contribución social y el

mérito. Busca garantizar que los beneficios y las cargas sean distribuidos de manera justa entre los diferentes grupos afectados por la investigación y el desarrollo algorítmico.

Sostenibilidad en la Inteligencia Artificial

La sostenibilidad se fundamenta en asegurar las necesidades del presente sin comprometer las de las generaciones futuras, manteniendo un equilibrio entre la protección del medio ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo social. Este enfoque busca cambiar la forma en que vivimos, nos movemos y consumimos, superando la economía lineal de adquirir, usar y desechar. Existen tres tipos principales de sostenibilidad (BBVA, 2022):

1. **Sostenibilidad ambiental:** Implica la gestión eficiente de los recursos naturales en la actividad productiva para preservarlos para las necesidades futuras.
2. **Sostenibilidad económica:** Se refiere al uso de prácticas económicamente rentables que sean social y ambientalmente responsables.
3. **Sostenibilidad social:** Busca fortalecer la cohesión y estabilidad de las poblaciones, promoviendo su desarrollo vital.

La sostenibilidad se ha convertido en una guía esencial para abordar el desequilibrio planetario causado por el agotamiento de recursos. La Cumbre del Clima (COP27) ha desempeñado un papel crucial al llevar la sostenibilidad a la agenda pública, fomentando la colaboración entre instituciones, gobiernos y empresas. La resistencia contra el sistema lineal de usar y desechar ha impulsado la conciencia sobre la necesidad de cambios urgentes hacia la sostenibilidad. En la actualidad, adquiere importancia la necesidad de alfabetizar a empresas, instituciones y ciudadanos en sostenibilidad para lograr una transformación integral en nuestra forma de vivir, desde la producción hasta el diseño de ciudades. La hoja de ruta postula que la introducción de la inteligencia artificial en el país debe ser sostenible para asegurar una adopción adecuada. No es viable implementar algoritmos de inteligencia artificial si, en su aplicación, se utilizan métodos ineficientes desde el punto de vista energético. Esto estaría en contradicción con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Naciones Unidas, 2015). Por otra parte, la sostenibilidad en los sistemas basados en IA requiere decisiones transparentes y responsables en todas sus capas de implementación con el fin de no afectar a la sociedad en general. Sin un desarrollo inclusivo de la población y generando impactos sociales y económicos negativos, la sostenibilidad de estos sistemas se vería comprometida.

¿Por qué la Adopción Ética y Sostenible de la Inteligencia Artificial? Situación Global y

Desafíos Actuales

La adopción de la Inteligencia Artificial (IA) ha marcado un hito significativo en el entorno empresarial, transformando la forma en que las empresas operan y abriendo nuevas oportunidades para la innovación y la eficiencia. Según el "IBM Global AI Adoption Index 2022", este avance tecnológico ha experimentado un crecimiento notable en todo el mundo, con un índice de adopción del 35%, lo que representa un aumento de cuatro puntos con respecto al año anterior. Uno de los principales motivadores de esta rápida adopción es la facilidad y

accesibilidad en la implementación de la IA, según el 43% de los líderes empresariales encuestados. Este hecho refleja la capacidad de la tecnología para adaptarse a múltiples áreas empresariales, desde la automatización de procesos hasta la predicción de riesgos. La inteligencia artificial se está convirtiendo en una herramienta versátil que puede utilizarse como asistente virtual autónomo o como sistema predictivo, ofreciendo soluciones a una amplia gama de desafíos empresariales. El informe "IBM Global AI Adoption Index 2022" destaca que, para el 42% de los líderes empresariales, la necesidad de reducir costos operativos y automatizar procesos claves ha sido el motor que aceleró la adopción de la IA. La disminución de tareas repetitivas, la mejora en el entrenamiento de empleados y la optimización de la captación de recursos humanos son otras acciones que las empresas han mejorado gracias a la implementación de la IA en sus operaciones, además, se observa que la crisis desencadenada por la pandemia del COVID-19, la presión por mantener la competitividad y la necesidad de adaptarse a los cambios climáticos también han impulsado la incorporación de la IA en las empresas. Estos factores demuestran cómo la tecnología se ha convertido no solo en una herramienta de eficiencia, sino también en un elemento clave para la resiliencia y la adaptación empresarial en situaciones desafiantes (IBM, 2022).

La inversión en Inteligencia Artificial será determinante para el rumbo de esta tecnología en el sector empresarial. El 44% de los encuestados en el informe "IBM Global AI Adoption Index 2022" señala que la investigación y el desarrollo serán sus prioridades para el próximo año, mientras que el 42% planea invertir más en la inclusión de la IA en su infraestructura tecnológica o procesos comerciales. Lo anterior sugiere que, a medida que la adopción de la IA se acelera, surgen nuevas oportunidades. La automatización se presenta como una ventaja clave para las empresas, permitiéndoles ahorrar tiempo y recursos valiosos, lo que impacta positivamente en sus resultados y objetivos. Se proyecta que, a partir de 2023, más industrias encontrarán soluciones creativas a través de la IA, impulsadas por un aumento en la inversión en áreas de desarrollo e investigación. Por otra parte, en la actualidad se destacan desafíos potenciales que podrían ampliar la brecha de adopción entre grandes empresas y mipymes. Para abordar estos desafíos, se subraya la importancia de establecer alianzas comerciales y desarrollar formas más accesibles y económicas de acceder a herramientas con IA. Esto contribuirá a ampliar aún más los índices de adopción en el futuro, garantizando un beneficio equitativo para todas las empresas (IBM, 2022). La adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial se presenta como un imperativo en este escenario de rápido avance tecnológico. Si bien la implementación de la IA ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia y productividad, es esencial abordar los desafíos éticos y sociales asociados. La confianza del consumidor, la reducción de sesgos no deseados y la responsabilidad en el uso de la tecnología son aspectos fundamentales que deben considerarse para garantizar un futuro ético y sostenible para la IA en el ámbito empresarial.

La adopción global de la Inteligencia Artificial (IA) está experimentando un crecimiento constante, marcando un cambio significativo en la forma en que las empresas abordan la automatización, la eficiencia operativa y los desafíos contemporáneos. La aplicación de la IA se ha convertido en una estrategia integral para muchas empresas, con el objetivo de aumentar la automatización de tareas y reducir costos operativos. Este enfoque estratégico se ha traducido

en un aumento significativo del 100% en la brecha de adopción entre empresas pequeñas y grandes en comparación con 2021, donde las empresas más grandes son ahora el doble de propensas a implementar la IA en sus operaciones. A pesar del crecimiento en la adopción de la IA, persisten desafíos importantes que deben abordarse para garantizar una implementación exitosa. Las cinco principales barreras que obstaculizan la adopción exitosa de la IA incluyen la limitada disponibilidad de habilidades, conocimientos o experiencia en IA (34%), el alto costo (29%), la falta de herramientas o plataformas para desarrollar modelos (25%), la complejidad de los proyectos (24%), y la complejidad de los datos (24%) (IBM, 2022). Otro aspecto crítico es la confiabilidad de la IA, puesto que la mayoría de las organizaciones aún no han tomado medidas importantes para garantizar que su IA sea confiable y responsable. Es decir, incluir la reducción de sesgos (74%), el seguimiento de variaciones de rendimiento y el desvío del modelo (68%), y la capacidad de explicar las decisiones impulsadas por la IA (61%). Una explicación importante de por qué la adopción de la IA ha sido gradual hasta este punto es la necesidad de implementar una estrategia que pueda automatizar y aplicar con éxito la IA a los objetivos comerciales. Muchas organizaciones que aún no han adoptado la IA están trabajando para desarrollar las estrategias adecuadas para hacerlo, especialmente las empresas más pequeñas que han sido más lentas en su adopción. Las empresas más grandes son un 60% más propensas que las más pequeñas a tener una estrategia holística para el uso de la IA en toda la organización (IBM, 2022). En términos de factores que impulsan la adopción de la IA, el informe "IBM Global AI Adoption Index 2022" identifica los siguientes 10 elementos:

- Avances en IA para mejorar la accesibilidad.
- Necesidad de reducir costos y automatizar procesos claves.
- Incremento en la cantidad de sistema de IA incorporada en aplicaciones empresariales estándar.
- Presión competitiva.
- Demandas debido a la pandemia de COVID-19.
- Presión de los consumidores.
- Directivas de liderazgo.
- Cultura empresarial.
- Escasez de trabajo o habilidades.
- Presiones ambientales.

Estos factores reflejan la complejidad de los impulsores que están dando forma a la adopción global de la IA, desde consideraciones económicas hasta presiones ambientales. La situación global de la adopción de la Inteligencia Artificial se caracteriza por un crecimiento constante, impulsado por la accesibilidad, la necesidad de eficiencia operativa y la aplicación estratégica de la IA en diversas áreas empresariales. Sin embargo, los desafíos actuales, como la falta de habilidades especializadas y la necesidad de garantizar la confiabilidad de la IA, requieren una atención continua. La brecha entre empresas más grandes y pequeñas destaca la importancia de desarrollar estrategias inclusivas que permitan a todas las empresas aprovechar los beneficios de la IA. La identificación de factores claves que impulsan la adopción proporciona una visión valiosa de los impulsores económicos, competitivos y ambientales que están dando forma al panorama de la IA. En última instancia, el camino hacia una adopción ética y sostenible

de la Inteligencia Artificial implica abordar estos desafíos de manera integral, promoviendo la equidad, la confiabilidad y la responsabilidad en el desarrollo y la implementación de la tecnología.

Desde un punto de vista de la educación, según la Unesco (2023), el aprendizaje digital y la transformación de la educación, la Inteligencia Artificial presenta un potencial significativo para abordar desafíos cruciales en la educación actual, transformar las prácticas de enseñanza y aprendizaje, y acelerar el progreso hacia el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 4. Aunque estos avances tecnológicos ofrecen oportunidades, también plantean riesgos y desafíos que han superado las discusiones políticas y marcos regulatorios hasta el momento. La UNESCO se ha comprometido a respaldar a los Estados Miembros para aprovechar el potencial de la IA en la consecución de la Agenda de Educación 2030, asegurándose de que su aplicación en entornos educativos esté alineada con principios de inclusión y equidad.

La propuesta de la UNESCO enfatiza un enfoque de la IA centrado en el ser humano, buscando abordar las desigualdades en el acceso al conocimiento, investigación y diversidad cultural. Con este mandato la UNESCO busca garantizar que la IA no amplíe las brechas tecnológicas dentro y entre países, aspirando a la visión de "IA para todos" para que cada individuo pueda beneficiarse de la revolución tecnológica en curso, especialmente en términos de innovación y conocimiento. Los rápidos avances tecnológicos en Inteligencia Artificial (IA), así como, en otras tecnologías emergentes como la robótica, la computación en la nube y el Internet de las cosas, están redefiniendo las fronteras de disciplinas, economías e industrias, cuestionando fundamentalmente nuestra comprensión de lo que implica ser humano. Este fenómeno no solo representa un cambio en la forma en que interactuamos con la tecnología, sino que también plantea interrogantes éticos y sociales. La Inteligencia Artificial, en particular, lleva consigo un potencial significativo para contribuir al bien social y al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Sin embargo, este potencial solo se realizará si su desarrollo se lleva a cabo de manera ética, respetando las normas y estándares internacionales, y se orienta hacia la promoción de la paz y el desarrollo sostenible. La clave radica en utilizar estas tecnologías para fortalecer la humanidad y construir un futuro más inclusivo y equitativo según se informó en el Consenso de Beijing sobre Inteligencia Artificial y Educación (UNESCO, 2019). Adicionalmente, la UNESCO ha desarrollado una publicación, en el contexto del Consenso de Beijing, dirigida a preparar a los responsables de políticas educativas en inteligencia artificial. Esta guía, titulada "Inteligencia Artificial: Guía para Personas a Cargo de Formular Políticas", resulta relevante para profesionales en comunidades educativas y de políticas, buscando promover una comprensión compartida de las oportunidades y desafíos de la IA en la educación, así como sus implicaciones para las competencias esenciales en la era de la IA (Miao et al., 2021).

Desde el sector público, la OECD/CAF (2022) en su informe del uso estratégico y responsable de la inteligencia artificial en el sector público de América Latina y el Caribe indica que la inteligencia artificial (IA) está desencadenando una transformación significativa en las economías globales al prometer aumentar la productividad, mejorar la eficiencia y reducir los costos. Los Gobiernos juegan un papel central en este panorama, al ser responsables de

determinar las prioridades estratégicas nacionales, las inversiones públicas y la regulación relacionada con la IA. Más de 60 países están desarrollando estrategias nacionales de IA. En respuesta a la naturaleza transfronteriza de los desafíos asociados con la IA, se observa una creciente adopción de enfoques regionales, tanto en la Unión Europea, la Unión Africana, los estados nórdicos y bálticos, las naciones árabes, así como en el marco del G7 y G20. La OCDE ha fortalecido su enfoque en la IA, respaldada por el observatorio OECD.AI y la adopción de los Principios de la OCDE sobre Inteligencia Artificial en 2019, estableciendo los primeros estándares intergubernamentales en la materia. En la región de América Latina y el Caribe, los Gobiernos buscan aprovechar de manera estratégica y confiable el potencial de la IA, reflejado en la elaboración de estrategias nacionales en siete países (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Uruguay). La incorporación de la IA en el sector público es una tendencia creciente, evidenciada en la mayoría de las estrategias nacionales, donde los Gobiernos emplean la IA para innovar y transformar sus servicios, redefiniendo la forma en que diseñan y entregan políticas y servicios públicos. Informe del Uso estratégico y responsable de la inteligencia artificial en el sector público de América Latina y el Caribe propone 13 recomendaciones a los Gobiernos nacionales de América Latina y el Caribe con el fin de incrementar los posibles impactos positivos del uso de la IA en el sector público tratando de minimizar las consecuencias negativas o no deseadas, a continuación, se transcriben tal como aparecen en el informe (OECD/CAF, 2022):

1. *Explorar el desarrollo y la ejecución de una estrategia y una hoja de ruta de la IA en el sector público para América Latina y el Caribe a través de un abordaje regional colaborativo.*
2. *Desarrollar y adoptar estrategias y hojas de ruta nacionales para la IA en el sector público.*
3. *Elaborar una estrategia de datos nacional para el sector público que abarque distintos aspectos relativos a los datos y que cimiente la aplicación de la IA.*
4. *Explorar las posibilidades de cooperar y colaborar a escala regional para elaborar proyectos e iniciativas de IA en el sector público.*
5. *Respaldar las actividades que se realicen en materia de IA a nivel subnacional y reflejarlas en políticas e iniciativas de IA más amplias.*
6. *Fortalecer el énfasis en la implementación de estrategias de IA en el sector público para garantizar la concreción de los compromisos asumidos.*
7. *Tomar medidas que respalden la sostenibilidad a largo plazo de las estrategias e iniciativas de la IA en el sector público.*
8. *Llevar a la práctica los Principios de la OCDE sobre Inteligencia Artificial y configurar un marco nacional de ética para una IA fiable.*
9. *Tener en cuenta como un elemento central las consideraciones sobre el uso de una IA fiable en el sector público que se identifican en el presente informe.*
10. *Arbitrar los medios para generar una capacidad de liderazgo sostenida a nivel central e institucional que guíe y supervise la adopción de la IA en el sector público.*
11. *Valerse de técnicas de gobernanza anticipada de la innovación para prepararse para el futuro.*
12. *Tener en cuenta como un elemento central las consideraciones sobre gobernanza que se identifican en el presente informe.*

13. *Tener en cuenta enfáticamente como un elemento central los habilitadores críticos de la IA en el sector público que se identifican en el presente informe.*

Retos Sociales en la Adopción Ética de la Inteligencia Artificial

La adopción de la inteligencia artificial (IA) en América Latina y el Caribe (ALC) presenta tanto oportunidades como desafíos significativos. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) lidera la iniciativa fAIr LAC (Pombo et al., 2020), que busca promover la adopción responsable de la IA para mejorar la prestación de servicios sociales y reducir las brechas en la región (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2020). La IA se define como un *sistema computacional capaz de hacer predicciones, recomendaciones o tomar decisiones para objetivos definidos por humanos, con distintos niveles de autonomía* (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2019). fAIr LAC¹ adopta esta definición y se enfoca en sistemas que pueden tomar decisiones autónomas en servicios sociales, independientemente del tipo de aprendizaje o algoritmo. Las oportunidades y desafíos de la Inteligencia Artificial en ALC promete mejorar la eficiencia en la prestación de servicios sociales, la transparencia en la toma de decisiones públicas y estimular la economía. Sin embargo, surgen preguntas cruciales sobre la preparación de la región para aprovechar estos beneficios sin generar desigualdades sociales. Es esencial garantizar que la IA sea confiable y responsable, abordando desafíos éticos y de privacidad afirma el Banco Interamericano de Desarrollo. La adopción de la IA presenta retos sociales fundamentales que deben abordarse para garantizar un impacto positivo en la sociedad, uno de los principales desafíos es la equidad en el acceso a la tecnología, aunque se promueve la innovación y la eficiencia, es crucial asegurar que la tecnología sea accesible para todos, evitando generar desigualdades adicionales. El BID destaca la importancia de favorecer la distribución de la riqueza y promover valores sociales como la integridad, la tolerancia y la diversidad al implementar tecnología. Se enfatiza que el uso de la tecnología debe ser proactivo en la promoción de estos valores y evitar contribuir a problemas como los desechos, la contaminación y el cambio climático (BID, 2020).

Una manera en que la fAIr LAC, impulsada por el BID, ha logrado afrontar los retos sociales que se presentan en la implementación y adopción de los sistemas de inteligencia artificial está basada en la colaboración entre sectores públicos y privados, sociedad civil y academia (Pombo et al., 2020). Su enfoque incluye la ejecución de experimentos y proyectos piloto de sistemas de IA, y la creación de modelos de evaluación ética y otras herramientas para profundizar el conocimiento y guiar la adopción responsable de la IA. A medida que la IA tiene un impacto cada vez mayor en empresas y sociedades, la confianza del consumidor se vuelve crucial; por tales motivos, las empresas que implementan IA reconocen la importancia de la transparencia. Un 84% de profesionales de TI establece que explicar cómo la IA toma decisiones es crucial para sus negocios (IBM in partnership with Morning Consult, 2022). Sin embargo, a

¹ Alianza entre los sectores público y privado, la sociedad civil y la academia, impulsada por el BID para incidir tanto en la política pública como en el ecosistema emprendedor en la promoción del uso responsable y ético de la IA.

pesar de la importancia atribuida a la confianza en la IA, muchas organizaciones aún no han tomado medidas críticas para preservarla. Esto incluye la falta de protocolos para identificar y eliminar sesgos en los modelos de IA. Aunque el 85% de los profesionales de TI concuerdan en que la transparencia en la construcción, gestión y uso de modelos de IA es crucial, existe un desafío en la codificación de principios éticos en reglas y políticas oficiales (IBM in partnership with Morning Consult, 2022).

En la actualidad, las empresas reconocen la importancia de instaurar la confianza del consumidor en la forma en que se desarrolla y utiliza la IA. Un 56% cita mantener la integridad de la marca y la confianza de los clientes como aspectos fundamentales. Además, el 85% de los profesionales de TI afirma que los consumidores son más propensos a elegir una empresa que demuestre transparencia sobre cómo se construyen, gestionan y utilizan los modelos de IA. A pesar del reconocimiento de la importancia de la ética aplicada en la IA, muchas empresas señalan una falta de habilidades y formación en este campo, y en este sentido, casi dos tercios de las empresas afirman carecer de las habilidades y la formación necesarias para desarrollar y gestionar una IA confiable y ética (IBM in partnership with Morning Consult, 2022).

La adopción ética de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe es un proceso complejo que presenta oportunidades para mejorar la prestación de servicios sociales y reducir desigualdades. Sin embargo, también enfrenta desafíos fundamentales relacionados con la equidad en el acceso, la distribución de la riqueza y la construcción de confianza en el uso de la IA. Las iniciativas actuales buscan abordar estos desafíos mediante la ejecución de proyectos piloto, la creación de modelos éticos y la promoción de la colaboración entre diversos actores en la región.

Compromiso Con la Transición Ética y Sostenible

En el año 2022, el IBM Global AI Adoption Index reveló que tanto grandes como pequeñas empresas consideran la sostenibilidad como un aspecto crucial para sus operaciones comerciales. De hecho, un porcentaje significativo de las empresas que implementan la inteligencia artificial (IA) están aplicando esta tecnología para abordar desafíos relacionados con la sostenibilidad y la responsabilidad social corporativa. Este compromiso con la sostenibilidad refleja la creciente conciencia de la importancia de integrar prácticas éticas y sostenibles en el desarrollo y uso de la inteligencia artificial. El informe destaca que el 64% de las empresas que ya utilizan inteligencia artificial aplican esta tecnología para acelerar sus iniciativas ambientales, sociales y de gobierno (Environment, Social and Government, ESG), mientras que otro 17% tiene planes para hacerlo en el futuro (IBM Global AI Adoption Index, 2022). Estos datos subrayan la relevancia que la inteligencia artificial ha adquirido en el impulso de prácticas empresariales responsables y sostenibles.

Al analizar las áreas específicas en las que la inteligencia artificial puede tener un impacto positivo, se identifican varios desafíos de sostenibilidad claves. Un gran consenso de empresas señaló que la inteligencia artificial tiene un gran potencial para impulsar procesos comerciales y operaciones diarias de manera más eficiente. Además, un 33% destacó su capacidad para

proporcionar datos más precisos y verificables sobre el desempeño ambiental, como emisiones y gestión de residuos, para la presentación de informes. La automatización de la recopilación y presentación de datos en operaciones complejas y diversos puntos finales también se menciona como un área clave, reconociendo el potencial de la inteligencia artificial en este ámbito. Asimismo, el análisis y la obtención de ideas a partir de grandes volúmenes de datos relacionados con resultados sostenibles deseados representan otro 29% de las respuestas que son consolidadas en el informe realizado por IBM. Es relevante destacar que, a pesar del consenso general sobre la importancia de las iniciativas ESG, el informe señala diferencias significativas entre las regiones. Mientras que el 87% de las organizaciones en los Estados Unidos afirman tener iniciativas ESG, un 22% sostiene que la inteligencia artificial no desempeña ningún papel en estas iniciativas. En comparación, el 70% de las organizaciones chinas utilizan la inteligencia artificial para avanzar en sus iniciativas ESG, lo que destaca la brecha entre las prácticas comerciales en diferentes partes del mundo (IBM Global AI Adoption Index, 2022).

Este panorama global fragmentado también se refleja en la competencia por establecer estándares y regulaciones que rijan el desarrollo y uso ético de la inteligencia artificial a nivel internacional. Frente a un contexto regulatorio global fragmentado, las ciudades emergen como actores normativos significativos. Esta tendencia se evidencia en la creación de alianzas de ciudades, como la Coalición de Ciudades por los Derechos Digitales (CC4DR), que desempeñan un papel clave en la formulación de políticas basadas en derechos digitales y en la promoción de la ética en el desarrollo de la inteligencia artificial. El desafío actual reside en conciliar los diferentes enfoques de los bloques regionales más importantes del mundo en la regulación de la inteligencia artificial. Estados Unidos, China y la Unión Europea (UE) mantienen diferencias ideológicas significativas en este ámbito. La UE, en particular, ha liderado esfuerzos pioneros en la regulación digital, destacándose con el Reglamento General de Protección de Datos (General Data Protection Regulation, GDPR) y, más recientemente, con la Ley de Inteligencia Artificial (AI Act). La AI Act, que se espera entre en vigor en 2024, establece un marco regulatorio basado en el riesgo y busca equilibrar los beneficios de la inteligencia artificial con la protección del interés público, la seguridad y los derechos fundamentales (Galceran-Vercher, 2023).

El poder normativo colectivo de las ciudades se manifiesta en iniciativas como el Observatorio Global de Inteligencia Artificial Urbana (Global Observatory Urban Artificial Intelligence, GOUAI), lanzado por la CC4DR, que busca definir principios éticos que guíen la adopción de soluciones de inteligencia artificial en entornos urbanos. Este observatorio también busca apoyar la operacionalización de estos principios mediante la identificación y difusión de buenas prácticas en el uso ético de la inteligencia artificial por parte de ciudades de todo el mundo. A medida que la IA se convierte en una fuerza transformadora en todas las industrias, desde la justicia y la gestión de recursos humanos hasta los servicios financieros y la atención médica, la carrera global hacia la regulación ética de la inteligencia artificial se intensifica. Los gobiernos locales, especialmente las ciudades, están adoptando un papel activo en esta regulación desde abajo, desarrollando marcos normativos, éticos y principios rectores para garantizar un uso responsable de la inteligencia artificial en sus comunidades (Galceran-Vercher, 2023).

La Inteligencia Artificial ética y responsable ha ganado relevancia en los últimos años, generando debates y discusiones a nivel nacional e internacional. Diversas organizaciones han establecido comités de expertos con el objetivo de abordar los retos éticos asociados con el desarrollo, despliegue y operación de sistemas de IA. En este contexto, se han delineado una serie de principios éticos que buscan proporcionar una guía de alto nivel para todos aquellos involucrados en el ciclo de vida de un sistema de IA. La iniciativa fAIr LAC, enfocada en América Latina y el Caribe, ha decidido adoptar los principios éticos elaborados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2019) en mayo de 2019. Estos principios fueron posteriormente adoptados por países miembros y no miembros, así como por el Grupo de los Veinte (G20) en junio del mismo año. Sin embargo, a pesar de la adopción formal de estos principios por seis países de la región, la aplicación concreta de recomendaciones específicas aún se encuentra en una etapa incipiente.

La adopción de una IA responsable en la región implica enfrentar y superar los desafíos que surgen al intentar poner en práctica los principios éticos. Para lograr esto, la iniciativa fAIr LAC se centra en la definición de estos retos, creando estrategias de implementación que sean adecuadas desde las perspectivas y problemáticas propias de América Latina y el Caribe. Uno de los principios clave establecidos por la OCDE es el fomento del crecimiento inclusivo, el desarrollo sostenible y el bienestar. Esto implica que las partes interesadas deben participar activamente en la gestión responsable de la IA, asegurando que esta tecnología beneficie a las personas y al planeta. La IA, utilizada de manera adecuada, tiene el potencial de aumentar las capacidades humanas, fomentar la creatividad, incluir a poblaciones minoritarias y reducir las desigualdades económicas y sociales. Asimismo, se destaca la importancia de proteger los entornos naturales en el proceso.

El respeto por los derechos humanos y los valores democráticos a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema de IA es otro principio fundamental. Los actores del ecosistema de IA deben comprometerse a respetar el estado de derecho, la libertad, la dignidad y la autonomía, así como a garantizar la privacidad y la protección de los datos. La no discriminación, la igualdad, la diversidad, la equidad, la justicia social y los derechos laborales reconocidos internacionalmente también deben ser salvaguardados. La transparencia y explicabilidad son principios que buscan garantizar que los sistemas de IA sean comprensibles y que las partes interesadas estén plenamente conscientes de sus interacciones con estos sistemas. La divulgación responsable de la información relevante, coherente con el contexto y el estado del arte, es esencial para lograr este objetivo. Esto no solo promueve la comprensión general de la IA, sino que también permite que las personas afectadas adversamente impugnen los resultados basándose en información clara y comprensible sobre los factores y la lógica que respaldan las decisiones del sistema.

La robustez, seguridad y protección son elementos esenciales que deben estar presentes durante todo el ciclo de vida de un sistema de IA. Los sistemas deben ser capaces de funcionar adecuadamente y sin representar un riesgo irrazonable para la seguridad en diversas condiciones, incluyendo el uso normal, el uso previsible, el uso incorrecto y condiciones adversas. La trazabilidad permanente, la gestión de riesgos y el abordaje de cuestiones

relacionadas con la privacidad, seguridad digital y sesgos son aspectos clave que los actores de la IA deben tener en cuenta de manera continua. Finalmente, la rendición de cuentas es un principio que destaca la responsabilidad de los actores de la IA en garantizar el buen funcionamiento de los sistemas y el respeto por los principios éticos. Esta responsabilidad se debe ejercer de acuerdo con los deberes específicos, el contexto y el estado del arte en el que operan.

La iniciativa fAIr LAC, al concentrarse en los retos específicos de la región, busca contribuir al desarrollo de estrategias de implementación que permitan una adopción exitosa de la IA ética en América Latina y el Caribe. La colaboración entre países, organizaciones y expertos será fundamental para avanzar en este camino y asegurar que la IA beneficie a la sociedad de manera inclusiva y sostenible. El compromiso con la transición ética y sostenible de la inteligencia artificial se manifiesta tanto a nivel empresarial como a nivel regulatorio. La implementación de la inteligencia artificial para abordar desafíos de sostenibilidad y la búsqueda de regulaciones éticas demuestran un cambio hacia prácticas comerciales y políticas más responsables. A medida que las ciudades emergen como actores normativos claves, la colaboración global y la adopción de estándares éticos se convierten en elementos esenciales para garantizar un futuro ético y sostenible para la inteligencia artificial.

Línea Base: ¿Por qué la Adopción Ética y Sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia?

En temáticas de alto valor como la innovación tecnológica y la responsabilidad social, Colombia se enfrenta al desafío trascendental de integrar la Inteligencia Artificial de manera ética y sostenible en su tejido social y económico. Colombia ha experimentado una rápida transformación digital en los últimos años, encontrándose en un punto crucial donde la adopción de tecnologías avanzadas, como la IA, no solo pueden impulsar el progreso, sino que también genera cuestionamientos profundos sobre sus repercusiones éticas y ambientales. Esta hoja de ruta se sumerge en la esencia misma de la adopción de la Inteligencia Artificial en Colombia, al explorar las razones fundamentales que respaldan la necesidad urgente de una implementación ética y sostenible. Este enfoque se basa en el planteamiento de cinco focos de innovación, los cuales analizan las condiciones habilitantes para una adopción adecuada. Además, se aborda desde una perspectiva de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) con el objetivo de potenciar los desarrollos que tengan un impacto positivo en la sociedad (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, 2020).

Colombia con su diversidad cultural y económica, se configura como un laboratorio dinámico para la convergencia de la innovación tecnológica y las prácticas éticas. En un contexto global donde la IA está moldeando industrias, impulsando la eficiencia y generando nuevas posibilidades, es imperativo que Colombia aborde no solo las oportunidades que ofrece, sino también los desafíos éticos y medioambientales asociados. Este estudio se propone trazar la línea base de la situación actual, explorando las dinámicas que impulsan la adopción de la IA en Colombia y destacando por qué la ética y la sostenibilidad deben ser pilares fundamentales en este proceso evolutivo. En la última década, Colombia ha emergido como un actor relevante en el escenario latinoamericano en términos de desarrollo tecnológico y transformación digital. Ciudades principales como Bogotá, Medellín y Cali han empezado la adopción de la digitalización en sectores claves, desde la administración pública hasta la industria privada. Sin embargo, este avance exponencial no está exento de desafíos éticos que conlleva implementar tecnologías basadas en IA, además, de la aparición continua de nuevas brechas relacionadas con los procesos regulatorios que actualmente se construyen de manera fragmentada en el mundo. La inteligencia artificial, con su capacidad para analizar grandes conjuntos de datos y tomar decisiones autónomas, plantea interrogantes fundamentales sobre la privacidad, la equidad y la transparencia. Asimismo, la sostenibilidad, en un momento en que el cambio climático y la responsabilidad ambiental ocupan el centro del escenario global, se convierte en un elemento ineludible al considerar la adopción de tecnologías emergentes.

Colombia desde su contexto socioeconómico agrega capas de complejidad a la temática asociada a garantizar la adopción de la IA. Aunque la digitalización promete eficiencia y competitividad, también permite observar las brechas existentes, agravando las disparidades sociales y económicas. La adopción de la IA, si no se encuentra mediada por principios éticos sólidos, podría exacerbar estas diferencias y generar consecuencias no deseadas. Además, la sostenibilidad se convierte en un imperativo, ya que el alto consumo energético y los residuos

electrónicos asociados con la expansión tecnológica requieren una cuidadosa consideración en un país comprometido con la preservación de su rica biodiversidad.

El desarrollo de esta hoja de ruta buscará comprender las principales aristas asociadas con la adopción de la IA en Colombia, generando un análisis sobre las iniciativas éticas y sostenibles que podrían integrarse en este gran reto. Con la construcción de esta línea base de la hoja de ruta se busca identificar el punto de partida para proponer estrategias concretas que permitan a Colombia liderar en la adopción de la IA de manera que impulse el progreso y se vea reflejada en los valores éticos y sostenibles que la sociedad colombiana busca preservar. Finalmente, con la instauración de la línea base se pretende establecer un camino sobre cómo la adopción de la IA en Colombia puede ser una fuerza transformadora para el bien, guiada por un compromiso sólido con la ética y la sostenibilidad. Colombia, se destaca por sus avances en gobernanza digital y por ser un líder en el desarrollo de políticas públicas para la transformación digital, y se ha posicionado como un país pionero en la adopción de recomendaciones éticas internacionales en el ámbito de la Inteligencia Artificial (IA). En el contexto del siglo XXI, donde la transformación digital se erige como un imperativo para mejorar la calidad de vida y la productividad, Colombia ha emergido como un adoptante temprano de prácticas éticas en el uso de la IA.

Desde la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), se ha impulsado una serie de acciones orientadas a propiciar avances significativos en la transformación digital del país. Con iniciativas como el CONPES 3975 de 2019, la Ley 2069 de 2020 y el Decreto 1732 de 2021, Colombia ha sentado las bases para afrontar los desafíos de la Cuarta Revolución Industrial. Estos documentos establecen estrategias para preparar tanto al Estado como a las empresas ante los cambios impulsados por la digitalización. En el ámbito de la apropiación tecnológica, se destaca el desarrollo de proyectos piloto del Estado, como la plataforma Data Sandbox. Esta iniciativa busca comprender a fondo tecnologías como el big data, la inteligencia artificial y la analítica de datos. Entidades gubernamentales como el Departamento Nacional de Planeación, la Superintendencia de Industria y Comercio, la Superintendencia Financiera y la Comisión de Regulación de Comunicaciones han implementado proyectos con el objetivo de mejorar la toma de decisiones y el procesamiento de datos. Colombia ha alcanzado un notable reconocimiento a nivel internacional en el uso responsable de la IA. Según el Artificial Intelligence and Democratic Values Index del Centro para la IA y la Política Digital, el país se sitúa en el puesto 17 entre 50 naciones evaluadas en 2021. Este posicionamiento resalta los esfuerzos y compromisos de Colombia en la implementación ética de la IA.

Un hito significativo en este camino ético ha sido la adopción de las recomendaciones de la Unesco sobre la ética en la inteligencia artificial. En una sesión de trabajo liderada por la ANDI y la Subdirección General del área de Ciencias Sociales y Humanas de la Unesco, se abordaron los principios internacionales para el uso responsable de la IA. Colombia, comprometida con una gobernanza digital sólida, destacó por ser el país latinoamericano con más iniciativas en IA y un fuerte impulso hacia la innovación y el emprendimiento. Los valores y principios que rigen estas recomendaciones éticas incluyen el respeto, la protección y la promoción de los derechos humanos, la prosperidad del medio ambiente, la garantía de la diversidad y la inclusión, y la

aspiración a vivir en sociedades pacíficas, justas e interconectadas. Asimismo, se destacan principios como la proporcionalidad, la seguridad, la equidad, la sostenibilidad, el derecho a la privacidad, la transparencia, la responsabilidad y la rendición de cuentas, entre otros.

En el año 2022, es relevante señalar que Colombia, ante la aceleración de la transformación digital en todos los sectores debido a la pandemia, empezó a desarrollar 491 proyectos liderados por más de 100 entidades públicas. Estos proyectos se distribuyen en 12 líneas tecnológicas, demostrando un enfoque integral que va más allá de la tecnología, abordando aspectos como el liderazgo, la cultura, el talento, la optimización de procesos y la regulación-desregulación inteligente. Para Colombia la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial se erige como una necesidad imperante en el contexto actual. El compromiso del país con las recomendaciones internacionales y su posición en el índice global de uso responsable de la IA reflejan el liderazgo y la preparación para enfrentar los retos éticos y sociales que plantea esta tecnología. Desde la ANDI, se promueve la autorregulación entre los afiliados, fomentando el intercambio de experiencias, fortaleciendo capacidades técnicas y contribuyendo a que Colombia sea un referente ético en el uso de la IA, no solo en América Latina sino a nivel mundial (ANDI, 2022).

Colombia está comprometida con la transformación digital avanzando significativamente en la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial (IA). Este progreso se ha gestado a lo largo del tiempo mediante una serie de iniciativas estratégicas que han fortalecido el ecosistema de datos del país y han contribuido al uso eficiente de la tecnología emergente. A través de la gobernanza de datos, Colombia ha sentado las bases para una implementación responsable de la IA, destacándose como referente no solo en América Latina sino a nivel mundial. Una de las iniciativas clave en este esfuerzo es C4ir.co, una plataforma que busca maximizar los beneficios de la Cuarta Revolución Industrial para lograr un desarrollo inclusivo y sostenible en América Latina. En su enfoque, equilibra la gobernanza tecnológica, el uso de datos y la adopción de tecnologías emergentes. Esta iniciativa no solo promueve la adopción de la IA, sino que también busca garantizar que sus beneficios alcancen a todos los sectores de la sociedad colombiana. El compromiso con la transparencia y la apertura de datos se manifiesta a través del Portal de Datos Abiertos, una plataforma diseñada para promover y habilitar condiciones que faciliten la apertura, uso y generación de valor a partir de datos gubernamentales. Este portal juega un papel fundamental al proporcionar acceso público a conjuntos de datos que pueden ser aprovechados para el desarrollo de soluciones basadas en IA, fomentando la participación ciudadana y la innovación. Otra contribución importante es PostData, una iniciativa de la Comisión de Regulación de Comunicaciones. Esta plataforma ofrece análisis sobre la información estadística de los sectores de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), Postal y de Contenidos. Al poner a disposición estos análisis, se crea un valor agregado al ecosistema digital, permitiendo una comprensión más profunda de los sectores y facilitando la toma de decisiones informadas en el ámbito de la IA. En el ámbito de la formación y la capacitación, la estrategia Misión TIC emerge como un componente vital. Diseñada específicamente para la formación en programación dirigida a jóvenes y ciudadanos en general, esta iniciativa amplía las oportunidades en la construcción de trayectorias educativas y ocupacionales. La formación en habilidades técnicas, especialmente en el contexto de la IA, se

presenta como un facilitador clave para una adopción ética y sostenible. Un espacio de colaboración esencial es el Data Sandbox, que establece un entorno colaborativo para entidades públicas en Colombia. Este espacio ha sido concebido para la realización de proyectos piloto de analítica y big data. Al proporcionar este terreno experimental, se fomenta la experimentación y la innovación, permitiendo a las entidades públicas explorar el potencial de la IA en un entorno controlado y ético.

En el ámbito geoespacial, la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales se presenta como una estrategia gubernamental diseñada para promover la coordinación intersectorial. Su objetivo es facilitar la producción, acceso y uso de datos geoespaciales para el aprovechamiento de la información geográfica. Este enfoque no solo contribuye a la gestión eficiente de la información, sino que también ofrece oportunidades para la aplicación de técnicas avanzadas de IA en el análisis geoespacial. La tecnología de procesamiento y análisis de texto encuentra su espacio en ConTexto, una librería desarrollada en Python con el propósito de simplificar tareas y proyectos que involucren procesamiento y análisis de texto. Al proporcionar herramientas que facilitan el manejo de datos no estructurados, se promueve la utilización efectiva de la IA en aplicaciones relacionadas con el procesamiento del lenguaje natural. Estas iniciativas, en conjunto, reflejan el compromiso continuo de Colombia con la adopción ética y sostenible de la IA a través de la gobernanza de datos. La transparencia, la formación, el acceso a datos abiertos y la colaboración entre entidades públicas son elementos clave que han permitido construir una base sólida para la implementación responsable de la IA en el país. Con una visión que va más allá de la tecnología, Colombia demuestra que la adopción ética de la IA implica considerar factores como el liderazgo, la cultura, el talento y la regulación inteligente. Estos esfuerzos han posicionado a Colombia como un líder en la región y un referente global en la adopción responsable de la Inteligencia Artificial (Portal Único del Estado Colombiano, 2023).

La revolución tecnológica ha llevado a que la Inteligencia Artificial (IA) se convierta en una fuerza motriz en la transformación empresarial global. En Colombia, este fenómeno no es ajeno, y las empresas del país han comenzado a adoptar estas tecnologías avanzadas. Este documento ofrece una visión exhaustiva de la adopción de la IA por parte de las empresas colombianas, examinando sus motivaciones, barreras y las percepciones que rodean este cambio tecnológico. La información se extrae de un módulo especializado en la Encuesta Pulso Empresarial (EPE) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en 2022, que proporciona datos de más de 8500 empresas.

Estado Actual de la Adopción de IA en Colombia: En el corazón de la transformación empresarial se encuentra la adopción de la IA, y las empresas colombianas no son ajenas a este imperativo. El módulo tecnológico de la EPE 2022 revela que aproximadamente el 9% de las empresas analizadas ya han incorporado tecnologías de IA en sus procesos. Este dato subraya para el DANE el creciente interés y reconocimiento de los beneficios potenciales que la IA puede aportar al entorno empresarial colombiano. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2022).

Motivaciones para la Adopción de IA: La organización de procesos administrativos se destaca como la principal motivación para la adopción de IA por parte de las empresas colombianas. La eficiencia en la gestión interna y la optimización de procesos son factores claves que impulsan esta decisión estratégica. La capacidad de la IA para imitar funciones cognitivas humanas ha llevado a una revolución en la forma en que se diseñan, desarrollan y ofrecen productos y servicios. Además, se vislumbran nuevos modelos de negocios, interacciones transformadas con clientes, proveedores e inversores, y mejoras significativas en la toma de decisiones empresariales. Aunque las expectativas son altas, existen barreras significativas que las empresas deben superar para adoptar plenamente la IA. Los costos de adquisición y la falta de experiencia en el uso de estas tecnologías emergen como las principales barreras. Estos desafíos reflejan la necesidad de estrategias y políticas que faciliten el acceso a la tecnología y promuevan la capacitación para garantizar una adopción efectiva.

Factores Facilitadores de la Adopción: El análisis de probabilidad revela que ciertos factores están asociados positivamente con la adopción de tecnologías de IA por parte de las empresas. El uso de internet y plataformas digitales, la inversión en equipos para el desarrollo de software, la realización de actividades de Investigación y Desarrollo (I+D), y la implementación de proyectos innovadores se destacan como factores que aumentan la probabilidad de adoptar estas tecnologías avanzadas.

Evaluando el Panorama Empresarial Colombiano: A pesar del impulso positivo hacia la adopción de IA, es fundamental evaluar el contexto empresarial en el que se desarrolla este proceso. Según el módulo de la EPE, el 69% de las empresas hacen uso de internet y plataformas digitales, y solo el 14% realiza inversiones en equipos de software y soluciones digitales. Estas cifras indican una infraestructura digital aún en desarrollo y señalan áreas donde las empresas pueden centrar sus esfuerzos para fortalecer su base tecnológica. Además, la implementación de bienes y/o servicios nuevos o mejorados en los procesos productivos solo alcanza al 5% de las empresas, lo que sugiere que existe un espacio significativo para la innovación y la adopción de tecnologías avanzadas. La realización de actividades de I+D es una práctica que solo el 7% de las empresas ha incorporado, indicando un área clave para el crecimiento y la competitividad a largo plazo.

Evaluando el Panorama Empresarial Colombiano: El análisis del panorama empresarial colombiano, en términos de la adopción de tecnologías de Inteligencia Artificial, revela una complejidad y diversidad significativas. La distribución sectorial, las percepciones empresariales y las tasas de adopción proporcionan un cuadro completo que destaca los desafíos y las oportunidades para la transformación digital en el país.

Distribución Sectorial: El sector empresarial colombiano se caracteriza por su diversidad, con una variada participación en diferentes sectores económicos. Según los datos proporcionados, el 33% de las empresas pertenecen al sector comercio, un 7% a la construcción, el 28% a las industrias manufactureras, mientras que el sector servicios abarca el 32% de las empresas. Esta distribución subraya la importancia de considerar estrategias de adopción de tecnología que se ajusten a las características específicas de cada sector.

Variables Relevantes relacionadas con las percepciones y expectativas empresariales: Las percepciones y expectativas empresariales son factores clave que influyen en las decisiones de adopción de tecnologías avanzadas. En octubre de 2022, el 32% de las empresas consideró que la situación económica del país y la empresa era mucho mejor o mejor en comparación con el año anterior. Además, el 35% y el 48% expresaron percepciones futuras positivas para el país y la empresa, respectivamente, dentro de un año. Estas percepciones optimistas se refuerzan con datos relacionados con los ingresos actuales y futuros. El 49% afirmó que los ingresos aumentaron, y el 51% espera que continúen aumentando en el próximo año. Sin embargo, el panorama de la inversión futura presenta una perspectiva más cautelosa, con solo el 17% de las empresas afirmando que aumentará. Este aspecto indica que, aunque las empresas son optimistas sobre el presente y el futuro económico, existe una cautela estratégica en términos de inversiones futuras. Adicionalmente, el 26% de las empresas considera que operar en Colombia es inseguro o muy inseguro. Esta percepción de inseguridad puede influir en las decisiones de inversión y adopción de tecnología, destacando la importancia de abordar factores externos que podrían limitar el desarrollo tecnológico.

Adopción de Tecnologías de IA: La adopción de tecnologías de IA se presenta de manera diferenciada según los tipos específicos de tecnologías, en términos de tecnologías que analizan lenguaje escrito, el 3.7% de las empresas las utiliza, con la industria manufacturera liderando con un 2%. Por otro lado, el uso de tecnologías de IA que automatizan flujos de trabajo o asisten en la toma de decisiones es del 5.6% para el total de empresas, indicando una adopción más extendida en este ámbito. Las tecnologías que identifican objetos o personas con base en imágenes tienen una participación del 4.1%, con la industria manufacturera y la construcción liderando en este caso. Mientras tanto, el uso de tecnologías de IA para aprendizaje automático en el análisis de datos tiene una participación del 3.1%, siendo la construcción e industria manufacturera las más destacadas. Aunque estas tasas de adopción son relativamente bajas en términos porcentuales, la tendencia general sugiere un interés creciente en incorporar tecnologías de IA en los procesos empresariales. El 9% de las empresas ya ha adoptado al menos una de estas tecnologías para octubre de 2022, destacando que la industria manufacturera lidera en términos de adopción.

Desafíos y oportunidades en la adopción de IA en Colombia: Aunque hay indicios de una clara intención de adoptar innovaciones, la baja inversión futura y las percepciones de inseguridad señalan áreas que necesitan una atención especial. El sector comercio, siendo el más representado con un 33%, debe considerar estrategias específicas para superar las barreras identificadas, incluyendo los costos de adquisición y la falta de experiencia. La construcción, con una participación del 7%, podría explorar en mayor medida el potencial de las tecnologías de IA para la automatización de procesos. La industria manufacturera, con un 28% de participación, lidera en términos de adopción, pero aún enfrenta desafíos significativos. El sector servicios, con una participación del 32%, debe centrarse en estrategias para aprovechar plenamente las oportunidades que ofrecen las tecnologías de IA.

La adopción de tecnologías de IA en Colombia está en una etapa inicial pero prometedora. La diversidad sectorial y las percepciones empresariales positivas proporcionan una base sólida para el crecimiento continuo. Sin embargo, la cautela en la inversión futura y las percepciones de inseguridad subrayan la necesidad de estrategias integrales y colaborativas entre el sector privado y el gobierno. El camino hacia la transformación digital en Colombia requerirá un enfoque equilibrado que aborde las barreras específicas de cada sector y fomente una adopción ética y sostenible de la IA. Este análisis proporciona una valiosa línea base para futuras investigaciones y esfuerzos de política, destacando la importancia de una colaboración continua para construir un futuro empresarial colombiano resiliente y tecnológicamente avanzado (Vera Otálvaro & Atis Ortega, 2023).

Retos y oportunidades, identificando brechas en la adopción de tecnologías avanzadas en América Latina: A nivel regional, la adopción de tecnologías avanzadas, incluida la IA, presenta desafíos específicos en América Latina. Según la Séptima Conferencia Ministerial sobre la Sociedad de la Información de América Latina y el Caribe, en 2020, el peso económico del ecosistema digital en América Latina representó solo el 3.98% del PIB, en comparación con el 4.58% de los países de la OCDE. Además, el índice de desarrollo de industrias digitales fue significativamente menor en la región, reflejando un rezago en la adopción de tecnologías avanzadas.

El rol de las empresas en la transformación tecnológica: las empresas colombianas se encuentran en un punto crítico en su viaje hacia la adopción de la IA. Aunque hay una clara voluntad de abrazar la innovación, existen desafíos significativos que deben superarse. La disminución en el aprovisionamiento de insumos, cambios en la demanda de productos y dificultades en el acceso a servicios financieros son factores externos que pueden afectar la adopción de IA. Esta diversificación subraya la necesidad de estrategias sectoriales específicas para garantizar una adopción generalizada de la IA y sus beneficios.

Percepciones y expectativas empresariales: Un aspecto distintivo de este estudio es la inclusión de percepciones y expectativas empresariales. El 32% de las empresas considera que la situación económica del país ha mejorado significativamente en comparación con el año anterior, mientras que el 46% tiene percepciones positivas sobre la situación de sus propias empresas. Estas percepciones positivas se traducen en expectativas, donde el 35% espera mejoras económicas para el país y el 48% para sus propias empresas en el próximo año. Sin embargo, el estudio señala una nota de cautela con respecto a la inversión futura, ya que solo el 17% de las empresas afirma que aumentará. Esto sugiere que, a pesar de las percepciones positivas, algunas empresas pueden estar adoptando un enfoque más cauteloso en términos de inversiones futuras en tecnologías avanzadas como la IA.

La adopción de la IA por parte de las empresas colombianas está en una fase inicial, con una clara intención de avanzar hacia la transformación digital. Las motivaciones, barreras y factores facilitadores identificados proporcionan una línea base esencial para comprender el panorama actual. La inclusión de percepciones y expectativas empresariales ofrece una dimensión adicional, destacando la importancia de considerar factores subjetivos en la toma de

decisiones tecnológicas. A medida que las empresas avanzan en su viaje hacia la adopción de tecnologías avanzadas, será crucial abordar las barreras identificadas y aprovechar las oportunidades presentes en el entorno empresarial. La colaboración entre el sector privado y las instituciones gubernamentales será fundamental para desarrollar políticas y estrategias que impulsen la adopción ética y sostenible de la IA en Colombia. El futuro de la investigación está en profundizar en la comprensión de las estrategias tecnológicas específicas que implementan las empresas en su transformación digital. Además, se deben explorar en detalle las implicaciones sociales y laborales de la adopción de la IA, asegurando que el crecimiento económico y la innovación no se produzcan a expensas de la equidad y la sostenibilidad a largo plazo (Vera Otálvaro & Atis Ortega, 2023).

En el contexto del panorama empresarial colombiano, la adopción de tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) presenta oportunidades significativas, pero también plantea desafíos cruciales que deben ser abordados con una perspectiva ética y sostenible. La diversidad sectorial, las percepciones empresariales y las tasas de adopción proporcionan una línea base para comprender el estado actual, pero es esencial considerar los principios éticos y los marcos internacionales que guían la implementación de la IA.

Principios éticos para la adopción responsable de la IA: El desarrollo e implementación de la IA requiere una atención cuidadosa a los principios éticos. La adopción de la IA debe basarse en una serie de valores fundamentales que salvaguarden los derechos fundamentales, respeten los principios democráticos, mitiguen riesgos potenciales, fomenten la innovación y prioricen el diseño centrado en las personas. Desde el momento de la concepción, es crucial diferenciar entre la ejecución de la tecnología y la responsabilidad asociada. La IA, al igual que cualquier otra tecnología, ejecuta tareas de manera reactiva a las solicitudes humanas, sin poseer autodeterminación ni agencia para tomar decisiones libres. Es vital establecer claramente que la responsabilidad recae en la persona que programa, entrena e implementa la IA, evitando antropomorfismos que podrían dificultar futuras regulaciones y atribuciones precisas.

Principios de organizaciones internacionales para la ética de la IA: Organizaciones internacionales, como la UNESCO, la ONU y la OCDE, han establecido principios éticos para guiar la implementación de la IA. Estos principios incluyen aspectos fundamentales como la proporcionalidad e inocuidad, la seguridad y protección, la equidad y no discriminación, la sostenibilidad, el derecho a la intimidad y protección de datos, la supervisión y decisión humanas, la transparencia y explicabilidad, y la responsabilidad y rendición de cuentas. Estos principios son la base para construir un marco ético sólido que garantice que la adopción de la IA en Colombia beneficie a la sociedad en su conjunto. La sostenibilidad, la inclusión y el respeto a los derechos humanos son pilares fundamentales que deben guiar cada fase del ciclo de vida de la IA, desde la concepción hasta la implementación y más allá.

Antecedentes Internacionales: Reflexiones y Principios: En consonancia con estos principios éticos, las reflexiones internacionales y los principios elaborados por diversas instancias, como la Conferencia de Asilomar y los Principios de la OCDE sobre IA, subrayan la importancia de la cooperación, la transparencia, la seguridad, la responsabilidad y la

consideración de los valores humanos. Estos documentos destacan la necesidad de garantizar que la IA se alinee con los ideales de dignidad humana, derechos, libertades y diversidad cultural. También enfatizan la importancia de salvaguardar la privacidad personal, la libertad y la equidad, así como el beneficio compartido y la prosperidad económica que deben derivarse de la adopción de la IA.

Desafíos y Oportunidades para la Adopción Ética y Sostenible en Colombia: Al considerar estos principios éticos y antecedentes internacionales, Colombia se encuentra en un punto crítico para incorporar la IA de manera ética y sostenible. Las empresas colombianas muestran un interés creciente en la adopción de tecnologías de IA, como se refleja en las tasas de adopción documentadas.

El camino hacia la transformación digital ética y sostenible: Para avanzar hacia la adopción ética y sostenible de la IA en Colombia, es crucial abordar estos desafíos de manera integral. La sensibilización y educación sobre las tecnologías de la IA deben promoverse activamente, involucrando a gobiernos, organizaciones intergubernamentales, sociedad civil, universidades, el sector privado, organizaciones no gubernamentales, sindicatos, entre otros. La gobernanza y la colaboración adaptativa de múltiples partes interesadas son esenciales para garantizar un enfoque inclusivo en la toma de decisiones relacionadas con la IA. La participación de las partes interesadas es crucial para garantizar que los principios éticos se traduzcan en prácticas tangibles y se ajusten a las necesidades específicas de Colombia.

La adopción ética y sostenible de la IA en Colombia es un objetivo alcanzable, pero requiere un compromiso continuo y esfuerzos colaborativos. La diversidad de sectores, las percepciones empresariales y los principios éticos internacionales proporcionan un marco sólido para avanzar hacia un futuro digitalmente avanzado y éticamente responsable. Sin embargo, la conclusión de esta primera sección deja claro que los desafíos persisten y que hay un camino por recorrer. La siguiente sección explorará las ventajas competitivas que la adopción ética y sostenible de la IA puede ofrecer en el contexto colombiano. Además, abordará los desafíos y oportunidades específicos para Colombia, así como los focos críticos que deben tenerse en cuenta en la implementación de la IA. En un mundo cada vez más impulsado por la innovación tecnológica, Colombia tiene la oportunidad de liderar el camino hacia la adopción ética de la IA, promoviendo un desarrollo sostenible y equitativo. El camino apenas comienza y la colaboración continua entre todos los actores será clave para superar los desafíos y cosechar los beneficios transformadores que la IA puede aportar a la sociedad colombiana. La adopción ética y sostenible de la IA no es solo una necesidad, sino también una oportunidad para construir un futuro digital más inclusivo y equitativo en Colombia (Secretaría de Innovación Pública, Jefatura de Gabinete de Ministros de Argentina, 2023).

Ventajas competitivas para la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia

En el horizonte de la transformación digital en Colombia, la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial (IA) se erige como un pilar fundamental para el crecimiento y la

competitividad en el escenario global. A medida que el país avanza hacia una integración más profunda de las tecnologías emergentes, surge la necesidad de comprender las ventajas que la adopción ética de la IA puede ofrecer a nivel nacional. Colombia se encuentra en una posición única para capitalizar no solo los beneficios intrínsecos de la IA, sino también para destacarse en el ámbito internacional mediante la explotación de sus recursos y capacidades distintivas. En este contexto, exploraremos las ventajas competitivas que sitúan a Colombia en una posición estratégica en el uso ético y sostenible de la IA. Desde el capital humano altamente capacitado hasta el sólido entramado educativo y científico, Colombia se perfila como un actor clave en el panorama global de la IA, aportando a la convergencia NBIC (Nano, Bio, Info y Cogno), la revolución industrial 4.0 y la investigación innovadora en tecnologías convergentes.

La cuarta revolución industrial, impulsada por la convergencia de tecnologías emergentes, se erige como uno de los desafíos más apremiantes en el contexto de la nueva misión Colombia productiva y sostenible. Este proceso de transformación digital encuentra sus cimientos en la cohesión entre los estamentos de Innovación, Universidad, Empresa y Estado. La participación de Colombia en esta dinámica resulta esencial para cerrar la brecha que la separa de los líderes de esta revolución. A través de un análisis estructurado en tres pilares claves, a saber, recursos humanos, producción académica, y participación del sector privado, se destaca la información vital para evaluar el progreso del país en la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial (IA) y la convergencia tecnológica.

Visión desde el capital humano: La integración exitosa a la cuarta revolución industrial demanda una revolución educativa que prepare a los ciudadanos para los desafíos de la convergencia científica. Colombia y Latinoamérica enfrentan desafíos significativos en este aspecto, ya que la preparación de los estudiantes para los nuevos retos de la convergencia científica es incipiente, Latinoamérica solo forma el 7% (Inteligencia Artificial Colombia, 2024) del talento TI que necesita en comparación con líderes globales como Corea del Sur, Alemania y Singapur. La formación en áreas claves como matemáticas, biología, física, química, así como, habilidades computacionales, lógica, creatividad y trabajo en equipo, debe ser fortalecida para asegurar una fuerza laboral capacitada y lista para la adopción de tecnologías emergentes.

Educación superior en áreas afines a la convergencia NBIC y las Industrias 4.0: El incremento significativo en el número de estudiantes en áreas de ingeniería y ciencias en Colombia entre 2000 y 2019 es una señal positiva (Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología [OCyT], 2021). Sin embargo, la distribución de estudiantes muestra una predominancia en la formación profesional, seguida por la técnica y tecnológica. La formación académica debe alinearse mejor con las necesidades del sector productivo. Aunque la oferta educativa no necesariamente debe seguir la demanda del sector productivo local, Colombia puede aprovechar su posición para generar programas que atraigan actores externos al territorio.

Nivel de Formación Académica de los Empleados en Colombia: La relación entre el sistema educativo y productivo se refleja en el nivel académico del personal laborando en la industria. La Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) del sector manufacturero revela que el 53% de los empleados tiene su máximo nivel de formación en educación básica

secundaria (DANE, 2021), lo que destaca la necesidad de fomentar la formación técnica y tecnológica. La diversificación del nivel de formación contribuirá a una fuerza laboral más calificada y adaptable a las demandas de la cuarta revolución industrial.

Formación de alto nivel y diáspora científica: El país debe crear un entorno propicio para la investigación en empresas, con incentivos salariales que fomenten la cualificación académica dentro del entorno laboral. La formación de doctores colombianos en el exterior representa un potencial significativo para el sistema científico, tecnológico e innovador del país.

Grupos de investigación: El análisis de los grupos de investigación registrados revela que solo el 13% trabaja en temas relacionados con las tecnologías convergentes y la industria 4.0 (EAFIT, 2019). Sin embargo, existe una relación transversal en áreas como ciencias básicas, biotecnología y salud, que están directamente relacionadas con las temáticas NBIC e Industria 4.0. Es fundamental fortalecer la colaboración entre los grupos de investigación y promover la investigación aplicada en áreas convergentes para potenciar la competitividad.

Producción académica y su impacto: La caracterización de las publicaciones académicas en áreas asociadas a tecnologías convergentes NBIC e Industria 4.0 destaca la necesidad de fortalecer la formación en matemáticas, física, química y biología (EAFIT, 2019). Aunque Colombia es visible en el conjunto de publicaciones latinoamericanas, su papel está por debajo de países referentes. La alta correlación global entre las publicaciones en ciencias básicas y aplicaciones relacionadas subraya la importancia de una formación sólida en disciplinas fundamentales.

Publicaciones en el área de tecnologías convergentes NBIC: La producción en áreas independientes es alta, pero las convergencias son escasas. La colaboración entre áreas como nanotecnología y biotecnología muestra un potencial significativo (EAFIT, 2019). La formación en áreas convergentes NBIC debe ser promovida para aprovechar al máximo el potencial de investigación en Colombia y cerrar la brecha con otros países referentes.

Publicaciones en el área de industrias 4.0: Las publicaciones asociadas a las temáticas de la cuarta revolución industrial experimentan un crecimiento acelerado. La participación de las instituciones colombianas en la producción académica destaca la necesidad de fortalecer la colaboración y la investigación aplicada. La dominancia en áreas como software, robótica y analítica de datos refleja la dirección hacia la que se orienta la investigación en Colombia.

Patentes: El análisis de la producción de patentes en Colombia revela la posición del país en propiedad intelectual. Aunque la participación en el registro de patentes es modesta en comparación con otros países latinoamericanos, la búsqueda de patentes muestra un potencial de crecimiento. Colombia debe fomentar la innovación y la protección de la propiedad intelectual para atraer inversiones y fortalecer su posición en el contexto global.

Citación de publicaciones colombianas en el proceso de registro de patentes: La plataforma LENS.org destaca el impacto de las publicaciones académicas colombianas en la

generación de nuevas tecnologías, métodos o formas de uso, evidenciado por la citación en patentes internacionales. Aunque la participación de Colombia es mínima, existe un potencial sin explotar, ya que los investigadores del país producen conocimiento que no se apropia con el mismo éxito.

Atracción de dinero inteligente (Sector Productivo): El concepto de ecosistema de innovación enfatiza la participación de las empresas en la generación y apropiación de conocimiento. Colombia enfrenta desafíos en niveles de innovación y apropiación tecnológica, con solo un pequeño porcentaje de empresas consideradas altamente innovadoras. La disparidad en los niveles de apropiación tecnológica entre grandes empresas y MiPYMES destaca la necesidad de modernizar los mecanismos de financiación y cerrar las brechas en el sector productivo.

Innovación y apropiación tecnológica por parte de la industria: El análisis de empresas catalogadas como "empresas innovadoras" muestra que solo un pequeño número se considera altamente innovador. La disparidad en los niveles de apropiación tecnológica entre grandes empresas y PYMES destaca la importancia de cerrar brechas para potenciar la productividad global del país. La modernización de los mecanismos de financiación es esencial para fortalecer la relación entre el sector productivo y académico.

Colombia se encuentra en una posición estratégica para aprovechar las ventajas competitivas derivadas de la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial. Desde la formación de recursos humanos altamente capacitados hasta la promoción de la investigación aplicada y la colaboración entre academia, industria y gobierno, el país tiene la oportunidad de destacarse en el escenario global de la cuarta revolución industrial. La convergencia NBIC, la revolución industrial 4.0 y la integración ética de la IA son fundamentales para el crecimiento y la competitividad, y Colombia tiene el potencial de liderar estos avances con una estrategia integral y sostenible (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, 2020).

Focos críticos para la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia

La inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una fuerza motriz en la revolución tecnológica, generando un impacto significativo en diversos aspectos de la sociedad. En este contexto, Colombia se encuentra en una encrucijada crucial, buscando adoptar la IA de manera ética y sostenible. Para comprender los desafíos y las oportunidades que enfrenta el país en este camino hacia la integración de la IA, el Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA), un estudio pionero que proporciona pautas e información sobre la posición de Colombia y otros 11 países en la región.

El ILIA: radiografía de la Inteligencia Artificial en América Latina: El Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA) emerge como el primer estudio regional público en su clase. Concebido por el Centro Nacional de Inteligencia Artificial de Chile (Cenia) con el respaldo de instituciones como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Corporación Andina de Fomento (CAF) y la

Organización de los Estados Americanos (OEA), el ILIA es un índice que proyecta las capacidades y desafíos en el panorama de la IA. La edición 2023 del ILIA se erige como un testigo de las capacidades instaladas en infraestructura, capital humano, datos, regulaciones y otros factores cruciales para el desarrollo de la IA. Al desglosar la realidad latinoamericana en dimensiones, subdimensiones e indicadores, el ILIA pone de manifiesto las brechas existentes a nivel regional y destaca las oportunidades y desafíos de cooperación que podrían impulsar el ecosistema de la IA en la región. Las dimensiones del ILIA tienen como propósito descifrar los pilares de la Inteligencia Artificial, ILIA orienta el camino hacia la adopción ética de la IA, identifica tres dimensiones fundamentales que componen el ecosistema de la Inteligencia Artificial en cada país:

Dimensión 1 - Factores Habilitantes: La primera dimensión se enfoca en los elementos esenciales para la constitución y desarrollo de sistemas de IA robustos. La evaluación de la infraestructura, datos y desarrollo de talento se convierte en un punto clave para mejorar la capacidad de cada país en enfocarse y acoplarse en la revolución de la IA.

Dimensión 2 - Investigación, Desarrollo y Adopción: La segunda dimensión, más centrada en la innovación, analiza los avances en investigación y desarrollo (I+D) e innovación. Aquí, se examina el desempeño del sector privado, la academia y el sector público, junto con la práctica de elementos como la producción científica, la inversión privada y la transferencia tecnológica.

Dimensión 3 – Gobernanza: La tercera dimensión, vital para garantizar la ética y sostenibilidad de la IA, mide el nivel de desarrollo del entorno institucional y regulatorio. Desde la existencia de políticas hasta la participación en instancias multilaterales de IA, esta dimensión aborda aspectos claves para el futuro de la tecnología en América Latina.

Colombia en el ILIA - puesto 6 y desafíos específicos: Colombia, tras ser evaluado en estas tres dimensiones, se posiciona en el puesto 6 del ILIA. Este ranking, proporciona una instantánea de la posición actual del país en el mapa de la IA latinoamericana. Los principales hallazgos han permitido establecer desafíos y oportunidades puntuales para Colombia, el informe del ILIA no solo clasifica a los países, sino que también extrae una serie de hallazgos cruciales que pueden ser percibidos tanto como desafíos y oportunidades para Colombia:

Una región diversa: La diversidad en la aplicación de la IA en América Latina destaca la necesidad de un aprendizaje cruzado entre las naciones, ofreciendo a Colombia la oportunidad de identificar mejores prácticas y estrategias adaptadas a su contexto único.

Fuga de talento controlada: Aunque existe una migración de investigadores, la mayoría regresa para contribuir al desarrollo en la región. Colombia puede aprovechar este flujo migratorio como un intercambio de conocimientos en lugar de verlo como una pérdida de talento.

Desafíos en infraestructura: A pesar de la abundancia de datos, la capacidad de procesamiento y entrenamiento de modelos en la región es insuficiente. Colombia puede invertir en infraestructura tecnológica para aprovechar plenamente el potencial de la IA.

Brechas en habilidades tecnológicas: Aunque hay un crecimiento en habilidades en IA, Colombia necesita implementar medidas concretas para cerrar la brecha en habilidades tecnológicas y mantenerse al ritmo del resto del mundo.

Colaboración regional esencial: La colaboración entre países latinoamericanos puede ser un catalizador para el progreso en la regulación, productividad científica y transferencia tecnológica. Colombia puede desempeñar un papel crucial en liderar iniciativas de colaboración en la región.

Oportunidades de inversión desaprovechadas: Aunque la inversión privada impulsa la IA a nivel mundial, América Latina, incluyendo a Colombia, tiene un margen significativo para aumentar la inversión en este ámbito.

Necesidad de especialistas en IA: La transdisciplinariedad de las publicaciones asociadas a IA destaca la necesidad de formar especialistas en el país. Colombia puede enfocarse en la educación y capacitación para cubrir esta demanda creciente.

Ruta hacia la madurez: La disminución de autores formados fuera del continente sugiere un progreso en la construcción de capacidades locales. Colombia puede acelerar este proceso mediante la promoción de programas educativos y la retención de talento.

Equilibrio entre optimismo y pesimismo: Colombia debe abordar la brecha entre la percepción optimista de la IA en los medios y la percepción más pesimista en las redes sociales, trabajando para mantener la confianza y legitimidad de la IA.

El análisis del ILIA proporciona una guía valiosa para que Colombia defina sus estrategias en la adopción ética y sostenible de la IA. Fortalecer la infraestructura, cerrar brechas en habilidades, fomentar la colaboración regional y aprovechar las oportunidades de inversión son pasos cruciales para que Colombia se posicione como líder en el panorama latinoamericano de la IA. Al enfrentar estos desafíos con determinación, el país puede construir un futuro donde la IA se convierta en una herramienta poderosa para mejorar la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible. La evaluación de los factores habilitantes, que refleja la situación global de los países en el ámbito de la inteligencia artificial (IA), se revela como un elemento crucial según el Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA). Este análisis confirma que la posición relativa de los países en esta dimensión coincide con su posición general en el ILIA, sugiriendo que el desarrollo de factores habilitantes tiene un impacto significativo en la madurez de los ecosistemas de IA. Sin embargo, se identifican desafíos importantes que requieren atención urgente en Colombia y otros países de la región. La conectividad insuficiente se presenta como un obstáculo crítico, a pesar de que la digitalización avanza, la disparidad en la velocidad de descarga revela la necesidad urgente de invertir en infraestructura para garantizar un acceso

equitativo a la tecnología. Asimismo, la falta de acceso a la capacidad de cómputo, evidenciada por un desempeño deficiente en inversiones y migración a la nube, señala la urgencia de desarrollar infraestructuras específicas para la IA. El potencial del ecosistema de datos, aunque razonable, aún no se traduce en proyectos concretos, y la ausencia de programas de capacitación y reconversión laboral indica una brecha crítica en el desarrollo de habilidades necesarias. En la ruta hacia la madurez, la dependencia histórica de la formación en el norte global y Asia persiste, aunque muestra signos de disminución. La fuga de talento, si bien existe, no representa más del 5% de la comunidad académica total y, en su mayoría, los profesionales regresan a contribuir en la región. La penetración de habilidades tecnológicas asociadas a la IA es menor en América Latina que en el resto del mundo, evidenciando la necesidad de impulsar medidas urgentes para cerrar estas brechas y avanzar hacia un futuro tecnológico más equitativo y sostenible en la región (Soto Arriaza & Durán Rojas, 2023).

Los puntos críticos detectados a través del Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA) constituyen una guía invaluable para la construcción de una hoja de ruta integral que promoverá la adopción ética y sostenible de la inteligencia artificial en Colombia. Estos desafíos identificados no solo representan obstáculos, sino también oportunidades para el progreso y la innovación en el ámbito de la IA en la región. La hoja de ruta se diseñará estratégicamente para abordar los focos críticos delineados por el ILIA, consolidando así un enfoque multifacético que involucre a diversos actores y abarque cinco entornos fundamentales de innovación. El primer entorno, "**Ética y Gobernanza**", se enfocará en establecer principios éticos sólidos que guíen el desarrollo y la implementación de tecnologías de inteligencia artificial. Además, se fortalecerán los marcos regulatorios y las prácticas de gobernanza para asegurar un entorno transparente y responsable. "**Educación, Investigación e Innovación**" constituirá el segundo entorno, dirigido a impulsar la formación y capacitación en habilidades relacionadas con la inteligencia artificial. A través de programas educativos especializados, se fomentará la preparación de una fuerza laboral competente y se incentivará la investigación y la innovación. El tercer entorno, "**Datos y Organizaciones**", se centrará en potenciar el manejo efectivo de datos para impulsar proyectos concretos y de impacto. Estrategias multilaterales serán implementadas para optimizar el uso de los datos y mejorar la colaboración entre sectores público y privado. La cuarta área, "**Industrias Innovadoras y Emergentes**", se dedicará a fomentar la adopción de tecnologías disruptivas en los procesos industriales y anticipar las tendencias futuras. Esto permitirá a Colombia posicionarse como un actor relevante en la revolución industrial y tecnológica. Finalmente, el entorno "**Privacidad, Ciberseguridad y Defensa**" abordará la importancia de garantizar la seguridad y protección de la sociedad en un contexto de creciente adopción de inteligencia artificial. Se implementarán medidas para mitigar riesgos y garantizar que la IA contribuya positivamente al bienestar y la seguridad ciudadana. En conjunto, estos entornos de innovación conformarán una hoja de ruta sólida y adaptativa que no solo superará los desafíos identificados por el ILIA, sino que también establecerá las bases para una adopción ética y sostenible de la inteligencia artificial en Colombia, promoviendo así un futuro tecnológico equitativo y próspero.

Ética y Gobernanza

Gobernanza de la Inteligencia Artificial en América Latina

La adopción de la Inteligencia Artificial (IA) en América Latina como lo menciona en el informe del *Índice latinoamericano de inteligencia artificial* (LATAM,2023) ha sido un tema clave en la agenda de muchos países de la región. Sin embargo, a pesar de los avances, se han identificado desafíos significativos que obstaculizan la implementación efectiva de la gobernanza de la IA. A continuación, se destacan las brechas y las oportunidades para impulsar un desarrollo ético, transparente y equitativo en el uso de la IA en la región.

Brechas en la Estrategia Nacional de IA

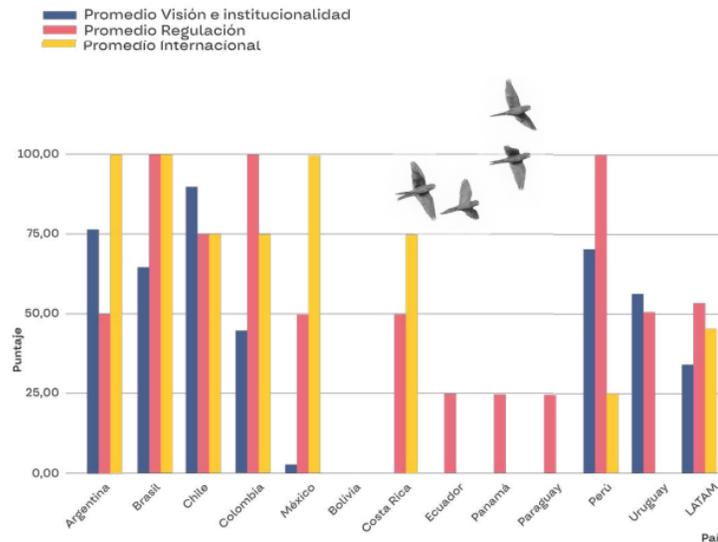
Entre los países con estrategias de IA vigentes, el impacto en el trabajo y la consideración de cuestiones de género son preocupaciones recurrentes. Sin embargo, el análisis de la dimensión de visión e Institucionalidad revela disparidades notorias entre los países de la región latinoamericana. La existencia de una Política Nacional de IA se presenta como un factor crucial, pero la falta de involucramiento de la sociedad civil y el bajo apoyo pueden afectar la legitimidad de estas estrategias (LATAM,2023).

A pesar de que muchos países han adoptado estrategias de IA, persisten desafíos significativos en la orientación al bien común. Los factores más frecuentes asociados a esta orientación son el impacto en el trabajo y la equidad de género. Sin embargo, el análisis revela un rezago en políticas de reconversión laboral y un aumento en la brecha de género en habilidades asociadas a la IA. Estos desafíos subrayan la necesidad de una planificación más integral para garantizar que los beneficios de la IA se distribuyan equitativamente (LATAM,2023).

Ahora bien, las regulaciones más específicas de los sistemas de IA, ha avanzado en la mayoría de los países asociados a la protección de datos y ciberseguridad, no obstante, existe una falta de enfoque en la regulación focalizada a la IA. La falta de marcos regulatorios claros y actualizados puede dejar a los países en una posición vulnerable frente a los desafíos éticos y de seguridad asociados a la IA. En la figura 1 se presenta el análisis regional donde se evidencia disparidades significativas entre los países en términos de desarrollo en las áreas de estrategia de IA, visión e institucionalidad, participación internacional y regulación con un 33,68. (LATAM,2023).

Figura 1

Puntaje para subdimensiones de Gobernanza.



Ahora bien, la gobernanza desde el punto de vista internacional fue evaluada respecto a la participación de los países en discusiones multilaterales. La adopción de estándares, la participación en comités internacionales y la suscripción a recomendaciones de organizaciones como la OECD y UNESCO son indicadores clave, en este caso Colombia se convierte en un actor clave adoptando de forma temprana las recomendaciones brindadas (MinTIC, 2022). Por otra parte, se hace hincapié en que la falta de participación en estos foros puede ser un obstáculo para la armonización de prácticas éticas y transparentes en el uso de la IA.

Con respecto a la Regulación, destacando la madurez regulatoria de los países. La presencia de regulaciones específicas sobre IA, el estado de avance en la discusión legislativa, y la existencia de regulación relacionada con ciberseguridad y protección de datos son elementos críticos. La falta de marcos regulatorios claros y actualizados puede dejar a los países en una posición vulnerable frente a los desafíos éticos y de seguridad asociados a la IA.

A pesar de estos desafíos, existen oportunidades para mejorar la gobernanza de la IA en América Latina. La integración de estrategias nacionales sólidas, el fortalecimiento de la participación ciudadana, el impulso de la regulación específica de la IA y una mayor presencia en foros internacionales son pasos esenciales. Lecciones valiosas pueden extraerse de países que han logrado avances notables, como Chile, Argentina y Perú.

La adopción de la gobernanza de la IA enfrenta múltiples desafíos, desde la disparidad en la formulación de estrategias nacionales hasta la falta de participación en foros internacionales y la ausencia de marcos regulatorios específicos. Estos desafíos deben abordarse de manera

integral para garantizar que la IA se desarrolle y utilice de manera ética, transparente y equitativa. Solo mediante un enfoque colaborativo y proactivo se podrá avanzar hacia una adopción efectiva de la gobernanza de la IA, asegurando así un impacto positivo en la sociedad y evitando potenciales inequidades y desafíos futuros.

Ética en la Inteligencia Artificial

La ética en la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en un tema crucial debido al crecimiento exponencial de su capacidad predictiva y su transversalidad en diversos aspectos de nuestras vidas. La IA ha sido utilizada en sistemas que abarcan desde la toma de decisiones hasta el reconocimiento facial, lo que ha generado un impacto directo en la sociedad. Sin embargo, esta adopción masiva ha revelado una serie de desafíos éticos y preocupaciones fundamentales que deben abordarse para garantizar un desarrollo y uso responsables de esta tecnología.

Importancia y Retos de la Ética en la IA

El reconocimiento de los sesgos y discriminación en sistemas de IA ha generado una conciencia crítica sobre la necesidad de abordar la ética en su desarrollo. La capacidad de la IA para replicar y continuar sesgos existentes en los conjuntos de datos utilizados para su entrenamiento destaca un problema fundamental: "basura entra, basura sale". Esto subraya la importancia de abordar no solo los aspectos técnicos, sino también los sesgos históricos y humanos arraigados en la sociedad.

Transparencia Algorítmica

La transparencia algorítmica se refiere a la disponibilidad de información sobre los sistemas de algoritmos, incluyendo los Sistemas de Decisión Automatizada (SDA), que permite entender su funcionamiento y evaluar su rendimiento. En términos generales, se define como la cualidad de los sistemas algorítmicos que permite visualizar y comprender su operación, brindando la posibilidad de conocer, supervisar los datos que ingresan, cómo se procesan y cuál es el resultado. Esta transparencia puede ser el resultado de prácticas pasivas, que surgen de solicitudes de acceso específicas realizadas por actores externos, o prácticas activas o proactivas, que se traducen en la disponibilidad periódica de información sin requerimientos puntuales. La información sobre los sistemas de algoritmos puede provenir de entidades públicas que informan sobre los algoritmos utilizados en respuesta a solicitudes puntuales (transparencia algorítmica pasiva o reactiva) o que ofrecen información de forma permanente o periódica al público sobre sus sistemas (transparencia algorítmica activa). La transparencia algorítmica no solo es un mecanismo para monitorear la operación de los sistemas algorítmicos, sino que también es un atributo que contribuye a la rendición de cuentas, la cual puede abordarse desde dos perspectivas: la explicación exhaustiva de las decisiones del sistema y la responsabilización legal y moral de los actores involucrados. Adicionalmente, la transparencia algorítmica se considera una condición habilitante para el ejercicio de derechos como la protección de datos personales, la privacidad y el acceso a la información. La falta de transparencia, conocida como opacidad algorítmica o "caja negra", puede contribuir a vulneraciones de derechos fundamentales como la protección de datos, la discriminación algorítmica y la violación del debido proceso (Gutiérrez & Castellanos-Sánchez, 2023).

Principales Bloqueantes y Habilitantes

Los bloqueantes para implementar la ética en sistemas basados en IA incluyen desafíos técnicos como la opacidad de los algoritmos y la falta de rendición de cuentas. La dificultad para comprender cómo funcionan los sistemas de IA y la ausencia de mecanismos claros de responsabilidad contribuyen a la desconfianza y la falta de aceptación pública. Por otro lado, los habilitantes incluyen avances en la explicabilidad de la IA, donde se busca hacer transparentes los procesos internos de los algoritmos para que sean comprensibles para todos los involucrados.

Tendencias y Retos Emergentes

Las tendencias actuales en ética e IA se centran en principios fundamentales, como equidad, no discriminación, transparencia y sostenibilidad. Sin embargo, la acumulación de estos principios en regulaciones y prácticas específicas sigue siendo un desafío pendiente. La sostenibilidad ambiental emerge como una tendencia crítica, con la necesidad de controlar el impacto de la IA en el medio ambiente y adoptar enfoques más eficientes y respetuosos con los recursos.

Desafíos Específicos y Futuro del Trabajo

La discriminación de género en la IA y su impacto en áreas como la salud y el acoso sexual son desafíos específicos que requieren una atención urgente. La anticipación de nuevos trabajos y la colaboración entre la IA y los humanos son aspectos fundamentales para mitigar los temores relacionados con la pérdida de empleo. La ética en la IA no solo se trata de evitar daños, sino de fomentar la equidad, la justicia social y la responsabilidad en su desarrollo y aplicación.

Hacia una Adopción Ética y Sostenible en Colombia

Los desafíos identificados en el Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA) proporcionan una base clara para abordar la ética en la IA. En Colombia, la hoja de ruta propuesta se centra en cinco entornos de innovación: Ética y Gobernanza, Educación, Investigación e Innovación, Datos y Organizaciones, Industrias Innovadoras y Emergentes, y Privacidad, Ciberseguridad y Defensa. Estos entornos abordarán aspectos claves, como la equidad, la transparencia, la rendición de cuentas y la sostenibilidad, garantizando así una adopción ética y sostenible de la IA en el país. La ética en la inteligencia artificial es esencial para abordar los desafíos actuales y futuros asociados con su implementación. La comprensión de los retos, bloqueantes y habilitantes, junto con la atención a las tendencias emergentes, permitirá el desarrollo de políticas y prácticas que promuevan una adopción ética y sostenible de la IA, no solo en Colombia, sino en todo el mundo. La colaboración interdisciplinaria y el enfoque proactivo son clave para garantizar que la IA beneficie a la sociedad de manera justa y equitativa.

Educación, Investigación e Innovación

El Impacto de la IA en la Educación y Empleo: Retos y Oportunidades para Grupos Desfavorecidos

La inteligencia artificial (IA) ha llevado a una creciente adopción en diversos sectores, pero su impacto en los grupos desfavorecidos es una preocupación importante. Se ha demostrado que la automatización impulsada por la IA afecta a estos grupos, desplazándolos de

los puestos de trabajo existentes. Según el Informe del (Foro Económico Mundial, 2023), se anticipa que el 44% de las competencias básicas de los trabajadores cambiarán en los próximos cinco años debido al aumento de las tareas realizadas por máquinas. Además, aproximadamente el 80% de la población activa de EE. UU. verá afectada una parte de su trabajo por los modelos lingüísticos avanzados como el Generative Pre-trained Transformer (GPT - modelo lingüístico capaz de producir texto similar al humano) y alrededor del 19% de los trabajadores verá afectada una parte significativa de su trabajo.

Este impacto no es homogéneo, y estudios señalan que las mujeres, minorías raciales, indígenas y personas con bajos ingresos son más vulnerables a las consecuencias negativas de

la IA en el empleo. El (Foro Económico Mundial, 2023) destaca que los beneficios de la automatización a menudo favorecen a aquellos con recursos no fácilmente sustituibles por la tecnología, creando así una creciente brecha de desigualdad.

Como lo menciona el (Foro Económico Mundial, 2023) la educación emerge como un factor crítico. La falta de acceso a tecnologías avanzadas y oportunidades educativas en IA para comunidades desfavorecidas agrava la situación. Mientras algunos niños tienen acceso a toda la tecnología disponible, aprendiendo los fundamentos de la IA desde una edad temprana, otros carecen de esta, creando disparidades.

La IA ética requiere una respuesta integral, y la educación inclusiva es clave. No solo implica comprender las implicaciones sociales y garantizar el uso justo de los datos, sino también proporcionar oportunidades educativas accesibles y equitativas. Para abordar estos retos, es esencial que las estrategias nacionales de IA se centren en mejorar la alfabetización en IA a través de los sistemas públicos de educación. Los esfuerzos deben incluir la capacitación de profesores y la incorporación de conceptos de IA en los planes de estudio básicos desde etapas tempranas de la educación (Foro Económico Mundial, 2023).

En Colombia, estas tendencias no solo son motivo de reflexión, sino que también han llevado a las entidades a realizar estudios exhaustivos sobre su impacto futuro. De acuerdo con el informe publicado por el (Ministerio de Trabajo, 2022) se destaca la brecha existente entre el capital humano actual y el requerido en términos de conocimientos y habilidades. La adaptación de la educación superior y la formación profesional se presenta como una necesidad urgente para preparar a los trabajadores frente a las demandas cambiantes del mercado.

A nivel mundial, las transformaciones impulsadas por la IA, la automatización y la analítica están generando cambios estructurales significativos en demografía, ciencia, tecnología, cultura, sociedad y economía. Un estudio realizado por (Osborne & Frey, 2013) advierte que el 47% de los empleos en el mundo podrían estar en riesgo de automatización en los próximos 10 o 20 años. Esto destaca la necesidad de abordar la brecha de capital humano, una problemática destacada por el Ministerio de Trabajo de Colombia.

Además, el modelo educativo tradicional se enfrenta a desafíos sustanciales en la era de la IA. La IA no solo evidencia las deficiencias del modelo de clases magistrales y exámenes, sino que también amenaza su valor. Se propone un nuevo modelo educativo basado en competencias, que se presenta como más resiliente al uso acrítico de la IA y cultiva habilidades que la IA carece, como el pensamiento crítico, la ética y la inteligencia emocional.

La revolución de la IA plantea retos y oportunidades significativas para Colombia y el mundo, en particular a los grupos desfavorecidos. La combinación de una educación inclusiva con soluciones y medidas de apoyo éticos deben garantizar que la IA sea un motor de igualdad y no de disparidad. Adicionalmente, deberá promocionar un modelo educativo basado en competencias para aprovechar las oportunidades y mitigar los desafíos en este nuevo paradigma laboral y educativo.

Datos y Organizaciones

Desafíos en la Gobernanza del Intercambio de Datos en la Inteligencia Artificial

Una de las fases del ciclo de vida de los datos es el acceso e intercambio de estos y se refiere a que cualquier persona u organización pública o privada puede acceder e intercambiar datos digitales con el fin de la reutilización. Según el (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2022), este proceso implica una interacción clave entre diversos actores:

- **Proveedores de datos:** son los creadores, intermediarios o vendedores de datos.
- **Consumidores de datos:** recopilan los datos a través de la compra para propósitos específicos.
- **Proveedores de servicios de intercambio de datos:** proveen las infraestructuras tecnológicas, gestionan y tratan los datos.
- **Autoridad que regula o habilita el intercambio de datos:** por medio de normativas, lineamientos técnicos y estándares.

De acuerdo con lo mencionado por (Future Cities Canada, 2019), los desafíos en la gobernanza de datos están asociados a la rápida evolución tecnológica, haciendo ineficientes los enfoques regulatorios necesarios, siendo estos reactivos y no proactivos. Adicionalmente, el (MinTIC, 2022) enfatiza en la importancia de otorgar a las personas el control sobre la información personal, no obstante, confiar los datos al sector privado genera riesgos referentes en la privacidad, propiedad y uso indebido de la información.

Ahora bien, en relación con la infraestructura de datos las recomendaciones dadas por (CAF -banco de desarrollo de América Latina, 2021) indican que los gobiernos deben contar con una política nacional de datos, así como la gobernanza para la producción y reutilización de estos. Invertir en capacidades institucionales junto con la formación de talento humano que cuente con habilidades para contar con recursos tecnológicos de análisis de datos para la toma de decisiones

e inteligencia artificial y diseñar una arquitectura de gobernanza de inteligencia artificial que incluya marcos éticos y regulatorios para que definan los derechos y responsabilidades de los actores involucrados en el ciclo de vida de la inteligencia artificial, así como organizaciones que ejerzan actividades de coordinación, supervisión y control.

Los retos éticos en el procesamiento de datos por sistemas de inteligencia artificial presentan grandes desafíos, con implicaciones profundas en transparencia, responsabilidad, control y explicabilidad. Estos problemas pueden comprometer principios éticos, vulnerando derechos humanos y valores democráticos (Castaño, 2021). La preocupación por la manipulación indebida de datos personales surge desde la década de los 90, fortaleciéndose con la tendencia a proteger la privacidad (Castaño, 2021) donde las implicaciones éticas del tratamiento de datos personales en el ámbito de la inteligencia artificial, se hace crítica debido a un manejo indebido de esta información lo que podría desencadenar la segmentación y discriminación de sectores específicos de la población.

La (OCDE, 2019) estima beneficios económicos y sociales significativos del acceso y el intercambio de datos por valor entre el 0.1% y el 1,5% del producto interno bruto (PIB), para los datos del sector público entre el 1% y el 2.5% y otros estudios hasta 4% del PIB. Sin embargo, a pesar de la creciente necesidad, diversas barreras obstaculizan su potencial. La gestión de riesgos, la construcción de comunidades para el intercambio y la definición de modelos de negocio sostenibles son cruciales para superar estas barreras.

Las cuestiones relacionadas con el acceso y el intercambio de datos son interdependientes y requieren una acción coordinada. Reforzar la confianza, empoderar a los usuarios y abordar los desafíos éticos son pasos esenciales. La interconexión de los intereses públicos y privados debe reflejarse en mecanismos de incentivos que aseguren la coherencia (Foro Económico Mundial, 2021).

La gobernanza del intercambio de datos es fundamental para la adopción de la inteligencia artificial, dado a los retos que enfrenta y las grandes oportunidades que ofrece. La coordinación entre sectores, la creación de marcos éticos y regulatorios, la participación de la sociedad permitirá maximizar los beneficios y mitigar los riesgos asociados al acceso e intercambio de datos para la transformación digital.

Industrias Innovadoras y Emergentes

La Industria 4.0, como lo indica (MinTIC, 2019) representa un cambio significativo en el paradigma de producción y gestión, implementando sistemas de producción totalmente automatizados. Este modelo implica la interacción de tecnologías digitales e Internet, donde las nuevas competencias de los especialistas industriales modernos son esenciales para el inicio, control y mantenimiento técnico de estos sistemas. A su vez, marca la cuarta revolución industrial, distinguiéndose de las anteriores por la fusión de los mundos físicos, digitales y biológicos. La influencia de la Industria 4.0 se extiende a todos los sectores, redefiniendo no solo la cadena de suministro, sino también contribuyendo al crecimiento, desarrollo y transformación de productos, así como a la experiencia del cliente.

En el núcleo de la Industria 4.0 se encuentran elementos clave tales como; sistemas ciber físicos, Internet de las Cosas (IoT), Internet de los Servicios y Fábrica Inteligente. Estos componentes forman un ecosistema digital interconectado que impulsa la toma de decisiones predictivas, la colaboración mejorada y la flexibilidad en la fabricación (MinTIC, 2019).

La Industria 4.0 va más allá de la manufactura, influyendo en todos los sectores y aspectos de la cadena de valor. La digitalización, como parte integral de esta revolución, se centra en la conectividad y la interacción entre humanos y máquinas, transformando el diseño, la fabricación, la operación, el servicio de productos y sistemas de producción (MinTIC, 2019).

En el contexto global analizado por (Acosta, 2020), la Industria 4.0 se percibe como una oportunidad estratégica para los países así mismo, advierte sobre la profundidad de los cambios y destaca la dualidad de promesa y peligro que la 4RI. Para Colombia, este cambio representa una oportunidad para transformarse de un país potencialmente desarrollado.

Sin embargo, Colombia enfrenta desafíos significativos en su adopción de la Industria 4.0. Según el informe de Disposición para el Futuro de la Producción de 2018 sustentado por (Acosta, 2020) el país se encuentra en el puesto 62 de 100 países evaluados. La adopción tecnológica, la falta de inversión en investigación científica, la balanza comercial desfavorable, la complejidad del sistema económico y tributario son algunos de los obstáculos identificados.

La seguridad de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se presenta como un desafío crítico. La interconexión en línea entre entidades en la Industria 4.0 aumenta el riesgo de violaciones de seguridad y fugas de datos. La ciberseguridad se convierte en una prioridad para garantizar la integridad de los procesos de producción (MinTIC, 2019).

La capacidad de adaptación es otro aspecto crucial. Las pequeñas y medianas empresas (PYME) necesitan orientación sobre las posibilidades de digitalización y cómo dar los primeros pasos hacia la transformación digital. La educación en ámbitos como ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas y la formación de profesionales son esenciales para superar las barreras de capital humano (MinTIC, 2019).

En Colombia la falta de acciones rápidas podría resultar en un rezago significativo. La visión de la Industria 4.0, con fábricas inteligentes y productos conectados, exige un enfoque integral que aborde no solo la adopción tecnológica sino también la educación, la inversión y la infraestructura. La colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia son esenciales para trazar un camino claro hacia la transformación industrial exitosa (MinTIC, 2019).

En la Figura 2 se presenta el nivel de madurez de algunos componentes de los sistemas de inteligencia artificial y los desafíos que se deben atacar de acuerdo con el informe del “*Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial*” brindado por (Latam, 2023), donde se evidencia que Colombia enfrenta retos en áreas como investigación, I+D, adopción e institucionalidad, así como

fortalecer la formación de capital humano, fomentar la adopción de la inteligencia artificial en las empresas y aumentar los recursos económicos en I+D destinados para tecnología.

Figura 2

Nivel de Madurez de Inteligencia Artificial en Colombia

Promedio Infraestructura	55,45	Promedio Disponibilidad de Datos	51,73	Promedio Desarrollo de Talento	46,65
Promedio Factores Habilitantes					51,28
Promedio Investigación	60,05	Promedio I+D	14,00	Promedio Adopción	31,06
Promedio Investigación, Desarrollo y Adopción					74,46
Promedio Internacional	75,00	Promedio Visión e Institucionalidad	44,64	Promedio Regulación	100,00
Promedio Gobernanza					73,21

La Industria 4.0 representa una oportunidad única para Colombia de impulsar su desarrollo económico y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. Sin embargo, enfrentar los desafíos identificados requerirá un esfuerzo conjunto y una visión a largo plazo. La adopción de la Industria 4.0 no solo es una cuestión tecnológica, sino también un cambio cultural y educativo que definirá el futuro del país en esta nueva era industrial.

Privacidad, Ciberseguridad y Defensa

Retos para la Adopción de Seguridad y Defensa de la Inteligencia Artificial en el Sector Aeroespacial y de Defensa

La convergencia entre la inteligencia artificial (IA), la industria aeroespacial y de defensa ha marcado un hito significativo en la evolución tecnológica. Este cruce ha dado lugar a avances notables que van desde la recopilación de información hasta la toma de decisiones estratégicas, creando oportunidades para mejorar la seguridad y eficiencia en las operaciones. Sin embargo, junto con estas oportunidades, surgen desafíos éticos, legales y operativos que deben abordarse de manera rigurosa para garantizar la implementación responsable y segura de la IA en este contexto. Este mercado dinámico, valuado en 29,67 mil millones de dólares en 2023 y proyectado a crecer a una tasa compuesta anual del 7,5% hasta alcanzar los 42,60 mil millones de dólares en 2028, presenta oportunidades y desafíos que definen la intersección entre la innovación tecnológica y la seguridad nacional (Modor, s.f).

El mercado de la inteligencia artificial y la robótica en el sector aeroespacial y de defensa presenta una dinámica compleja. Se caracteriza por la presencia de múltiples actores, desde

fabricantes de robots hasta proveedores de tecnología robótica e inteligencia artificial. Empresas destacadas como The Boeing Company, Lockheed Martin Corporation, Airbus SE, IBM Corporation y Thales Group lideran este mercado, trabajando en estrecha colaboración con fabricantes de equipos originales para desarrollar soluciones avanzadas basadas en IA (Modor, s.f).

Las asociaciones estratégicas, como la firma del acuerdo entre IBM y Raytheon Technologies en octubre de 2021, reflejan la creciente tendencia de colaboración entre empresas para impulsar la innovación en el ámbito de la inteligencia artificial, criptografía y tecnologías cuánticas. Se espera que estos avances mejoren la seguridad, eficiencia y toma de decisiones en operaciones aeroespaciales y de defensa.

En 2023, se proyecta que América del Norte representará la mayor cuota de mercado en la industria de inteligencia artificial y robótica en el sector aeroespacial y de defensa. Este liderazgo regional sugiere la presencia y el impulso significativo de empresas y organizaciones de investigación en el desarrollo y aplicación de tecnologías avanzadas en la región.

Desarrollo y Aplicaciones de la IA en Seguridad y Defensa

La aplicación de la inteligencia artificial en seguridad y defensa ha transformado la manera en que gobiernos y fuerzas armadas enfrentan los desafíos contemporáneos. Desde la recopilación de información hasta la toma de decisiones estratégicas, la IA ha demostrado su valía en diversas áreas cruciales para la seguridad nacional.

Ventajas de la IA en el Sector de Seguridad y Defensa

- **Procesamiento de Datos en Tiempo Real:** la capacidad de la IA para analizar grandes cantidades de datos en tiempo real es crucial. Los sistemas de IA pueden procesar información de diversas fuentes, como sensores, satélites y redes de vigilancia, identificando patrones y tendencias que podrían pasarse por alto con métodos tradicionales.
- **Sistemas Autónomos y Vehículos No Tripulados:** la IA ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo de sistemas autónomos y vehículos no tripulados. Drones y vehículos terrestres autónomos han demostrado utilidad en misiones de reconocimiento, búsqueda y rescate, reduciendo el riesgo para el personal militar y brindando flexibilidad en la planificación de misiones.
- **Mejora en la Detección Temprana de Amenazas:** Algoritmos de procesamiento de imágenes pueden identificar objetos, patrones y comportamientos anómalos, mejorando la detección temprana de amenazas y la identificación de objetivos.
- **Retos y Desafíos en la Aplicación de la IA en Defensa:** Sin embargo, a medida que la IA se integra más profundamente en el ámbito de la defensa, surgen desafíos significativos que abarcan aspectos éticos, legales y operativos.

- **Toma de Decisiones Autónomas:** la toma de decisiones autónomas por parte de sistemas de IA plantea preguntas sobre la responsabilidad y la rendición de cuentas en caso de incidentes. La posibilidad de que la IA se utilice en operaciones ofensivas ha generado debates sobre la necesidad de regulaciones internacionales que controlen su desarrollo y uso.
- **Ciberseguridad:** a pesar de que la IA es esencial para prever, identificar y responder a ciberataques, su implementación también introduce desafíos en ciberseguridad. Los sistemas de IA pueden ser vulnerables a malware, manipulación de patrones y ataques utilizando tecnologías de aprendizaje automático.

Avances y Desafíos Éticos en Seguridad y Defensa

La IA ha revolucionado áreas cruciales, desde la recopilación de información hasta la toma de decisiones estratégicas. Sin embargo, estos avances no están exentos de desafíos éticos, legales y estratégicos. La capacidad de análisis en tiempo real y la autonomía de sistemas plantean preguntas sobre la responsabilidad y rendición de cuentas en operaciones autónomas.

La posibilidad de utilización en operaciones ofensivas ha llevado a la discusión sobre la necesidad de regulaciones internacionales (Heras, 2023).

Desafíos en Ciberseguridad

La IA se presenta como un instrumento esencial para prevenir y responder a ciberataques, según el Departamento de Defensa de Estados Unidos. No obstante, el uso de inteligencia artificial en ciberseguridad también introduce nuevas vulnerabilidades. La capacidad de los adversarios para emplear malware y manipular sistemas autónomos abre la puerta a una "carrera armamentística" de inteligencia artificial contra inteligencia artificial, donde los ciberdefensores enfrentan la dificultad de tener éxito en todas sus intervenciones, mientras que los atacantes solo necesitan transformar algunas ocasiones (Heras, 2023).

Retos Éticos en la Toma de Decisiones Autónomas

Uno de los desafíos éticos más prominentes es la delegación de funciones a algoritmos, especialmente en la selección y ataque a objetivos. La crítica se centra en la incapacidad de sistemas autónomos para discernir situaciones complejas, evaluar el valor militar de objetivos y determinar intenciones, planteando preguntas sobre quién sería responsable en caso de incidentes. Iniciativas como 'Stop Killer Robots' expresan preocupación por el uso inapropiado de la tecnología y abogan por códigos de conducta éticos.

Desafíos Geopolíticos y Competencia Global

El análisis geopolítico revela que la tecnología, en particular la inteligencia artificial, será un factor determinante en el orden internacional del siglo XXI. Estados Unidos, China y Rusia emergen como las principales potencias en esta "carrera tecnológica", con la posibilidad de que Europa se vea afectada por una suerte de "cibervasallaje". La influencia de grandes corporaciones tecnológicas en la geopolítica, basada en la manipulación de datos a gran escala, agrega una capa adicional de complejidad (Heras, 2023).

Ante estos desafíos, respuestas y estrategias comienzan a tomar forma. Más de 1.300 personalidades, incluyendo Elon Musk y Steve Wozniak, llaman a ralentizar el desarrollo de la IA para gestionar sus riesgos (Heras, 2023). La ONU, a través de la Convención sobre ciertas Armas Convencionales, busca limitar el uso de armas autónomas letales, mientras que la UE se enfrenta a la necesidad de regularizar estas tecnologías. La Ley de Inteligencia Artificial en la UE, aunque excluye el ámbito militar, destaca la importancia de la responsabilidad humana y la rendición de cuentas.

En Colombia, la integración de la inteligencia artificial (IA) en las operaciones militares ha emergido como una necesidad imperiosa en el panorama global. Diversos países, entre ellos Colombia, están reconociendo el potencial transformador de la IA en el ámbito militar y su capacidad para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia operativa y la seguridad en general. Aunque las Fuerzas Militares de Colombia se suman a esta tendencia, la adopción de la IA en seguridad y defensa no está exenta de desafíos significativos (El país, 2023).

En América Latina, países como Argentina, Chile y Brasil han desarrollado planes de acción para implementar la inteligencia artificial en las Fuerzas Armadas. Estos planes abarcan desde reconocimiento facial hasta la detección de amenazas cibernéticas y la planificación de operaciones. La tendencia global muestra una convergencia hacia la adopción de tecnologías emergentes para fortalecer la seguridad y defensa nacional (El país, 2023).

Las Fuerzas Militares de Colombia (El país, 2023) delinearon áreas específicas en las que la IA podría ser aplicada en el contexto colombiano:

- Recopilación y Procesamiento de Datos
- Sistemas de Vigilancia y Detección Temprana
- Automatización de Tareas Rutinarias
- Mejora de la Precisión y Rapidez en la Toma de Decisiones
- Simulaciones y Modelos Predictivos
- Análisis Predictivo de Amenazas
- Detección y Respuesta a Amenazas Cibernéticas

La adopción de la inteligencia artificial en seguridad y defensa marca un hito importante en la evolución de las capacidades militares. Sin embargo, para garantizar su implementación exitosa y ética, es imperativo abordar los desafíos mencionados de manera rigurosa. La colaboración entre naciones, la transparencia en el desarrollo de tecnologías de IA y la atención

constante a las implicaciones éticas y sociales son fundamentales para aprovechar los beneficios de la IA sin comprometer la seguridad y los valores fundamentales.

Desafíos frente al Cambio Climático y Seguridad Ambiental

Son reconocidas las potencialidades de la IA en la generación de información oportuna para la toma de decisiones frente a seguridad y defensa, como ampliamente ha sido destacado hasta el momento, en especial en lo relacionado con temas de ciberseguridad. Sin embargo, es poco lo que al momento se ha documentado sobre su importancia frente a los impactos de la señal de cambio climático, variabilidad climática y medio ambiente, y su incidencia en daños de infraestructura crítica (marítima, terrestre y aérea), pérdidas de equipos de monitoreo y detección para la seguridad y defensa nacional, que vulneran el ejercicio de unidades militares, imposibilitando el idóneo desarrollo de acciones que propendan por la seguridad del territorio nacional, favoreciendo el actuar delictivo y con ello, la inestabilidad social y política

En esta línea, es de particular relevancia destacar que a nivel mundial se vienen consolidando esfuerzos en la materialización de herramientas que permitan mitigar impactos asociados a la ocurrencia de amenazas naturales y antrópicas, como es el caso de la Conferencia Sudamericana de Defensa (SOUTHDEC, por sus siglas en inglés), recientemente celebrada en la ciudad de Cartagena, en agosto 2023².

Es así, que la comprensión de la influencia de la señal de cambio climático en el comportamiento de variables oceanográficas, hidrográficas y meteorológicas, sin duda, demandan de la identificación de patrones de variabilidad temporal y espacial, así como del aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos naturales extremos³ (El Niño y La Niña, ciclones tropicales, entre otros)⁴. Lo anterior, como una línea base que evidenciar anomalías climáticas, para lo cual es indispensable la adopción de la IA para el agrupamiento de grandes volúmenes de datos basados en el entrenamiento de redes neuronales y con ello desarrollar sistemas de alerta temprana que proporcionen información para la toma de decisiones oportunas frente a la implementación de acciones frente a potenciales riesgos. En lo correspondiente a los riesgos asociados a la señal de cambio climático en temas de seguridad y defensa, se citan a continuación algunos ejemplos y potenciales aplicaciones IA:

² Conferencia Sudamericana de Defensa SOUTHDEC 2023: <https://www.gub.uy/ministerio-defensa-nacional/comunicacion/noticias/conferencia-sudamericana-defensa-southdec-2023>

³ Collins, M., A.; Cai, S.-I.; Ganachaud, W.; Guilyardi, A.; Jin, E.; . . . F.-F.; Wittenberg, A. (2010). The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. Nature Geoscience.

⁴ Cai, W.; Borlace, S.; Lengaigne, M.; Rensch, P.; Collins, M.; Vecchi, G.; Wu, L. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. Nature Climate Change.

Tabla 3

Identificación de riesgos asociados al cambio climático y el desafío con la aplicación de la inteligencia artificial

Riesgo asociado a Cambio Climático	Desafío aplicación IA
1. Ciclones tropicales	Procesamiento y análisis de alto volúmenes de datos climáticos Optimización de modelos predictivos Modelación mejorada de patrones de cambio climático Detección automática de procesos de erosión y acreción Creación estrategias eficientes de adaptación y mitigación
2. Incremento de nivel del mar	
3. Inundación por exceso de precipitación	
4. Erosión costera y fluvial	
5. Incendios forestales	
6. Deshielo	
7. Sequías (asociadas a eventos de variabilidad climática)	
8. Aumento de deslizamiento de tierra	
9. Incremento en la intensidad de corrientes de chorro	
10. Aumento en la temperatura en el sector aeronáutico	

Por otro lado, en temas asociados con el medio ambiente, y principalmente relacionado con amenazas de origen antrópico, es posible destacar el desarrollo de actividades que generan contaminación y pérdida de biodiversidad en áreas geográficas estratégicas, en donde organismos nacionales, incluidos actores de seguridad y defensa, en conjunto con la sociedad civil organizada tienen un rol preponderante en la generación de acciones de protección de los ecosistemas. Para Colombia, se han identificado los siguientes riesgos en esta categoría:

Tabla 4

Identificación de riesgos asociados al medio ambiente y el desafío con la aplicación de la inteligencia artificial

Riesgo asociado a Medio Ambiente	Desafío aplicación IA
1. Aumento de cultivos ilícitos	<p>Percepción remota (drones) en tiempo real para la identificación de actividades ilícitas y vigilancias de áreas geográficas estratégicas</p> <p>Implementación de modelos predictivos para la predicción de la posible trayectoria de sustancias contaminantes para la generación de mapas de sensibilidad ambiental.</p>
2. Aumento de la explotación ilícita de yacimientos mineros	
3. Aumento de la tala ilegal	
4. Pesca ilegal y sobreexplotación pesquera	
5. Derrame de sustancias contaminantes	
6. Degradación de ecosistemas estratégicos (Manglares, Páramos, Parques Naturales Nacionales)	
7. Invasión de bienes de uso público	
8. Invasión de especies exóticas invasoras	

Reto y Misión

El reto y la misión subyacentes en la hoja de ruta se centran en la adopción de la Inteligencia Artificial (IA). Un aspecto fundamental de este enfoque es garantizar que dicha adopción sea ética, alineándose con los principios y normas propuestas por organizaciones líderes, como la OCDE y la UNESCO. Esta orientación ética busca no solo el progreso tecnológico, sino también un impacto positivo en la sociedad y el respeto a los valores fundamentales. Adicionalmente, la hoja de ruta tiene el propósito de asegurar que la adopción de la IA sea sostenible, en consonancia con las políticas delineadas en el *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: "Colombia, Potencia mundial de la vida"*. Este enfoque sostenible busca integrar la innovación tecnológica con el desarrollo ambiental, económico y social a largo plazo, estableciendo así una armonía entre el avance tecnológico y las metas nacionales de prosperidad y bienestar. En conjunto, la hoja de ruta aspira a un equilibrio integral entre la adopción efectiva de la IA, la ética en su implementación y la sostenibilidad alineada con los objetivos nacionales de desarrollo.

La hoja de ruta se fundamentará en una línea base establecida por el informe de IBM sobre el Índice Global de Adopción de IA, correspondiente al año 2023 (Global AI Adoption Index, 2023). Este informe se elaboró mediante una encuesta realizada en noviembre de 2023, abarcando a una muestra representativa de 8,584 profesionales de tecnologías de la información (TI) en Australia, Canadá, China, Francia, Alemania, India, Italia, Japón, Singapur, Corea del Sur, España, Emiratos Árabes Unidos, Reino Unido, Estados Unidos y América Latina (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú). Para participar en la encuesta, los involucrados debían estar empleados a tiempo completo, trabajar en empresas con más de un empleado, desempeñar roles de nivel gerencial o superior, y poseer conocimientos sobre el funcionamiento y uso de las tecnologías de la información en sus respectivas compañías. Los resultados a nivel global cuentan con un margen de error de +/- 1 punto porcentual, asegurando así la fiabilidad y representatividad de los datos recopilados. Esta línea base proporciona una perspectiva sólida y confiable desde la cual diseñar y avanzar en la hoja de ruta, considerando el panorama actual de adopción de IA a nivel internacional.

Además, del índice de adopción proporcionado por IBM, se consideró el "AI Index", una iniciativa independiente del Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI) liderada por el AI Index Steering Committee, un grupo interdisciplinario de expertos provenientes de la academia y la industria. Este informe anual se encarga de rastrear, recopilar, destilar y visualizar datos relacionados con la inteligencia artificial, permitiendo a los tomadores de decisiones adoptar medidas significativas para avanzar en la IA de manera responsable y ética, teniendo en cuenta la perspectiva humana. El AI Index colabora con diversas organizaciones para monitorear el progreso en inteligencia artificial, entre ellas el Center for Security and Emerging Technology en la Universidad de Georgetown, LinkedIn, NetBase Quid, Lightcast y McKinsey. El informe de 2023 presenta datos y análisis que incluye nuevas investigaciones sobre modelos fundamentales, abordando su geopolítica y costos de entrenamiento, el impacto ambiental de los sistemas de IA, la educación en IA y las tendencias de opinión pública sobre la inteligencia artificial. Además, el AI Index amplió su seguimiento de legislación de IA a nivel

global, pasando de 25 países en 2022 a 127 en 2023. Esta información adicional proveniente del AI Index contribuyó de manera significativa a la definición de la misión, reto, objetivos y problemas en la formulación de la hoja de ruta (Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, 2023). A continuación, se presentan estadísticas reportadas por los dos índices que permiten estimar de una manera prospectiva y alcanzable la misión y objetivos de esta hoja de ruta:

- En el año 2019, Colombia tenía el 21% de porcentaje de adopción de la IA con respecto a los países que conforman Latam (Brazil, México, Chile, Perú y Argentina) para el índice Global AI Adoption Index.
- Las organizaciones en términos globales según Global AI Adoption Index 2023 tienen en temas de adopción: explorando IA (40%) e implementando IA (42%). Por su parte Latinoamérica: explorando IA (34%) e implementando IA (47%).
- Según Global AI Adoption Index 2023, Latam en términos de Habilidades, experiencia o conocimiento limitados de IA en sus profesionales tiene: explorando IA (32%) e implementando IA (23%).
- Según Global AI Adoption Index 2023, Latam en términos de No tener la capacidad de gobernar adecuadamente los modelos de IA: explorando IA (9%) e implementando IA (4%).
- Según Global AI Adoption Index 2023, *“Las principales barreras que obstaculizan la adopción exitosa de la inteligencia artificial en empresas que están explorando o implementando la IA incluyen habilidades y experiencia limitadas en IA (33%), una complejidad excesiva de datos (25%), preocupaciones éticas (23%), proyectos de IA que son demasiado difíciles de integrar y escalar (22%), alto costo (21%) y falta de herramientas para el desarrollo de modelos de IA (21%).”*
- Según Global AI Adoption Index 2023, *“...a pesar de que muchas empresas que ya están implementando la inteligencia artificial se enfrentan a múltiples barreras en el proceso, menos de la mitad informa que están tomando medidas clave hacia la IA confiable, como la reducción de sesgos (27%), el seguimiento de la procedencia de los datos (37%), asegurándose de poder explicar las decisiones de sus modelos de IA (41%), o desarrollando políticas éticas de IA (44%).”*
- Según Global AI Adoption Index 2023, solo el 34% de las organizaciones están actualmente capacitando o actualizando las habilidades existentes a los empleados para trabajar junto con nuevas herramientas de automatización e inteligencia artificial.
- Según "AI Index" Stanford Institute, predominio masculino en nuevos doctorados en IA (78,7% hombres, 21,3% mujeres en 2021).
- Según "AI Index" Stanford Institute, incremento gradual de mujeres en contrataciones docentes en informática, educación superior e información (24,9% en 2017 a 30,2% en 2021).
- Según "AI Index" Stanford Institute, el 64% de los colombianos participantes en el estudio tienen confianza en que los productos y servicios que utilizan IA tienen más beneficios que inconvenientes.

- Según "AI Index" Stanford Institute, el 58% de los colombianos participantes en el estudio opinan que: "Los productos y servicios que utilizan inteligencia artificial han cambiado profundamente mi vida diaria en los últimos 3 a 5 años."

Considerando las estadísticas proporcionadas por los índices presentados por IBM y el Stanford Institute, se plantean el siguiente reto, misión, problemas y objetivos con el fin de abordarlos en el corazón de esta hoja de ruta.

Reto

El reto establecido para la hoja de ruta es:

"Garantizar la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia"

Misión

Asegurar que, en el 2033, el 50% de las organizaciones del país hayan adoptado la inteligencia artificial garantizando el uso y aplicación responsable, ética y sostenible de los desarrollos tecnológicos correspondientes.

Considerando que el índice actual de adopción de IA en Colombia es del 21%, se puede argumentar que hay una base establecida, pero hay margen para un crecimiento significativo. Establecer la meta en el 50% se alinea con el promedio de adopción de IA en América Latina (42%). Esto posiciona a Colombia como un líder en la región y refleja la aspiración de mantenerse competitivo a nivel internacional.

Problemática de la misión

Bajo nivel de adopción de desarrollos tecnológicos basados en inteligencia artificial, fortalecimiento del capital humano y el desarrollo de condiciones habilitantes para abordar los problemas sociales, económicos y ambientales del país.

Categorías de problemas por foco de innovación

En la Tabla 5, se realiza la identificación de los problemas, objetivos y rutas de innovación asociadas a cada entorno.

Tabla 5

Identificación de problemas, objetivos y énfasis de las rutas de innovación

Focos de Innovación de la Hoja de Ruta	Problema	Objetivo	Énfasis de la Ruta de Innovación
Ética y Gobernanza	Baja comprensión y confianza pública en las aplicaciones de la IA.	Lograr que la población colombiana comprenda y confíe en las aplicaciones de inteligencia artificial desarrolladas por las organizaciones a través de la implementación del 100% de aplicaciones que garanticen la privacidad de los usuarios, sean transparentes, responsables y justas, fomentando una percepción positiva y una participación informada en la sociedad y gobierno digital.	Condiciones habilitantes para la adopción
Educación, Investigación e Innovación	Bajo desarrollo de competencias y diversidad de género en IA	Aumentar en un 50% la participación de mujeres y grupos subrepresentados en la IA, mediante programas educativos y de capacitación, asegurando una fuerza laboral diversa y competente en el campo.	Condiciones habilitantes para la adopción
Datos y Organizaciones	Ausencia de marcos éticos y de gobernanza en aplicaciones basadas en IA.	Implementar marcos éticos sólidos para la implementación de aplicaciones de IA, con el fin de que el 100% de la gobernanza de datos en el ámbito de la inteligencia artificial se rijan por principios éticos y legales.	I+d+i
Industrias Innovadoras y Emergentes	Baja adopción de la IA en las empresas, la industria y los sectores gubernamentales.	Incrementar la adopción de la inteligencia artificial en el 50% de las empresas y sectores gubernamentales, generando confianza mediante soluciones demostrativas y educación continua, apoyándose en las iniciativas de gobierno digital de Colombia.	I+d+i
Privacidad, Ciberseguridad y Defensa	Bajo nivel de desarrollo de soluciones basadas en inteligencia artificial que impacten positivamente la calidad de vida y el bienestar social, económico y ambiental de la población.	Desarrollar soluciones basadas en inteligencia artificial que aborden problemáticas sociales, económicas y ambientales de manera innovadora, apoyando el cumplimiento de las metas propuestas en el Plan Nacional de Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.	I+d+i

Rutas Innovación

Focos de Innovación y Niveles de Madurez Tecnológica (TRL) para IA

A partir de los cinco (5) focos de innovación tales como: “*Ética y Gobernanza*”, “*Educación, Investigación e Innovación*”, “*Datos y Organizaciones*”, “*Industrias Innovadoras y Emergentes*”, “*Privacidad, Ciberseguridad y Defensa*” en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6 se identificaron las temáticas y las principales alternativas de innovación para implementar durante la evolución de la presente hoja de ruta. Adicionalmente, se realiza una evaluación actual del nivel de madurez tecnológico. Además, las rutas de innovación se enmarcan en factores claves que garantizan la adopción de la IA, dichas factores comprenden:

Comprensión y Educación: Proporcionar una comprensión clara y educación sobre los beneficios y aplicaciones de la IA. Esto incluye la formación del personal y la creación de conciencia sobre cómo la IA puede mejorar las operaciones. La educación, Investigación e innovación es el motor que impulsará la sensibilización y democratización de la IA, dado que las instituciones educativas tienen la responsabilidad de formar personal con competencias transversales de uso y aplicación de la IA; pero también deben ser el impulsor de la reconversión de los talentos en ejercicio (reskilling) para que adopten la IA y sean líderes agentes de cambio en sus organizaciones. La IA como objeto de estudio, la cual permite a los individuos conocer mejor la tecnología y evitar sesgos y concepciones erradas respecto a su alcance, beneficios y potenciales perjuicios. Debe ser inclusiva para evitar ampliar las brechas socio económicas. La IA como herramienta educativa, según la cual los individuos acceden a conocimiento a partir del uso de herramientas como los LLM's y se utilizan como apoyo educativo para adquisición y apropiación de información y conocimiento. La IA como herramienta pedagógica, mediante la cual la IA se utiliza para la selección y uso de estrategias pedagógicas que benefician el proceso de enseñanza aprendizaje en los individuos y potencian el rol de los educadores.

Involucramiento de los Stakeholders: Asegurarse de que los diferentes grupos de interés (stakeholders) estén involucrados en el proceso. Esto implica la participación de los líderes, empleados y otros actores relevantes en la toma de decisiones y la implementación de la IA con el fin de lograr la sensibilización y democratización del uso de la IA en la sociedad colombiana. La hoja de ruta pretende hacer énfasis en la necesidad de la articulación institucional a nivel del Gobierno nacional y la interacción de este con otros niveles de gobierno, con otras entidades del Estado (Congreso, Cortes de justicia) y con otros agentes de la sociedad (academia, sector privado, sociedad civil). Esto ayuda a poder definir y tener posiciones a nivel país para las participaciones de Colombia en los espacios internacionales y la definición de normatividad y regulación.

Evaluación de Riesgos y Ética: Realizar evaluaciones de riesgos y abordar cuestiones éticas relacionadas con la implementación de la IA. Establecer prácticas éticas para garantizar la aceptación y confianza de los usuarios y partes interesadas. Incorporar el aspecto legal y

normativo es decisivo para generar la confianza de los actores claves involucrados para impulsar la adopción de la IA en los procesos de transformación en sus diferentes ámbitos. Además, es clave destacar que en los marcos regulatorios aspectos como el respeto a la privacidad e intimidad de los individuos en la sociedad, no solo para datos existentes sino para datos o información fruto de procesos predictivos o prescriptivos de IA, son necesarios para lograr una mayor confianza por parte de la sociedad colombiana. Por otra parte, la hoja de ruta tendrá presente la “Materialización del Principio de Responsabilidad Demostrada”. Lo anterior teniendo en cuenta que dicho principio fue desarrollado por los artículos 25 y 26 del Decreto Reglamentario 1377 de 2013, contenido en el Decreto 1074 de 2015 Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo y reconocido legalmente en la Ley 2157 de 2021 que modificó la Ley 1266 de 2008 (Habeas Data Financiero). Finalmente, si bien son varios los retos y desafíos en la actualidad, adquiere especial relevancia temas relacionados con la protección de la propiedad intelectual, especialmente por el auge del procesamiento del lenguaje natural en el campo de la IA generativa.

Demostración de Valor: Mostrar de manera clara y concreta el valor añadido que la IA puede aportar a la organización. Esto puede incluir casos de uso específicos y ejemplos prácticos que ilustren cómo la IA puede mejorar la eficiencia y los resultados. Desde la industria 4.0 se ha visto como la IA se enfoca en los aspectos de tecnología (por ejemplo: robotización, automatización, los sistemas inteligentes, la virtualización, análisis de Big Data, aprendizaje automático, la Inteligencia Artificial y el Internet de las cosas (IoT)), esta hoja de ruta también pone en consideración las industrias emergentes (la industria 5.0) la cual abarcará todo lo que considera la industria 4.0 pero involucra la transformación cultural, siendo este último un factor de éxito.

Desarrollo de Capacidades Internas: Invertir en el desarrollo de habilidades y capacidades internas relacionadas con la IA mediante la formación del personal actual y la contratación de expertos en IA para liderar la implementación y futura adopción. Además, formación del capital humano en los diferentes niveles que le permita al país no solo consumir tecnología desarrollada en otros países, sino generar tecnología propia que resuelva problemas locales. Otro aspecto importante es el fortalecimiento relacionado con la formación de doctores colombianos en las universidades del país, lo anterior representa un potencial significativo para el sistema científico, tecnológico e innovador de Colombia puesto que invertir recursos en formación de alto nivel facilitará abordar problemas locales mientras se fortalecen las capacidades de las instituciones de investigación.

Escalabilidad y Flexibilidad: Aseguramiento de la infraestructura para desarrollo y aplicación de la IA logrando que sea escalable y flexible para adaptarse a las necesidades cambiantes de la organización. Esto permite una implementación gradual y la capacidad de ajustar la estrategia según sea necesario. Por otra parte, fortalecer la descentralización de los datos mejorará la facilidad al acceso del principal recurso para el desarrollo de aplicaciones basadas en inteligencia artificial.

Colaboración con Expertos Internacionales: Buscar la colaboración con expertos internacionales en IA para obtener asesoramiento y apoyo. Esto incluye consultores especializados y colaboración con empresas o instituciones de investigación.

Evaluación Continua y Planes de Mejora: Establecer un proceso de evaluación continua para medir el rendimiento de la IA y realizar mejoras según sea necesario, esto garantiza que la tecnología siga siendo efectiva y relevante a lo largo del tiempo, fortaleciendo la construcción de estrategias país para enfrentar problemas de reconversión laboral y empleo ante la presencia de soluciones de IA. Por otra parte, es importante tener en cuenta los avances del país en cuanto a la política pública desarrollada para impulsar el acceso, uso y aprovechamiento de datos como el Plan Nacional de Infraestructura de Datos (Resolución MinTIC 460 de 2022) y Modelo de gobernanza de infraestructura de datos (Decreto 1389 de 2022). Adicionalmente, garantizar una adopción de la IA puede verse desde profundizarse en las oportunidades y retos que supone para el país contar con mayores capacidades de almacenamiento y de cómputo para un mayor desarrollo de la IA. En ese sentido, es relevante abordar la instalación de centros de datos y el desarrollo de la computación en la nube en Colombia.

Tabla 6

Ética y Gobernanza IA: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.

Foco Innovación 1. Ética y Gobernanza en IA

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL		
Generación de nuevo conocimiento mediante la investigación en temáticas asociadas a la ética y regulación de la Inteligencia Artificial (IA).	Generar nuevo conocimiento a través de la investigación que oriente e impacte los temas normativos, éticos y regulatorios en sistemas de IA, garantizando ampliar la frontera de conocimiento en estas temáticas siempre en procura de un equilibrio entre la innovación y la regulación en la IA.	1. Investigación en Ética y temas regulatorios en las diferentes capas que componen los sistemas basados en Inteligencia Artificial.	*		
		2. Generar nuevo conocimiento para guiar la materialización del principio de responsabilidad demostrada.	*		
		3. Estructuración de entornos regulatorios experimentales que fomenten el desarrollo tecnológico e innovación en inteligencia artificial (sandbox regulatorio).	*		
		4. Investigación para generación de nuevo conocimiento en reglas de clasificación para los sistemas de IA de alto riesgo.	*		
		5. Incentivos y normativas para la investigación ética por parte de las organizaciones.	*		
		Ética en la toma de decisiones automatizadas.	Desarrollar nuevos estándares éticos y fortalecer los existentes para la toma de decisiones automatizadas basadas en inteligencia artificial. Esto incluye la transparencia en los algoritmos, la equidad en los resultados y la explicabilidad de las decisiones para garantizar que sean éticas y comprensibles para todos los involucrados.	6. Transparencia en algoritmos públicos.	*
				7. Auditorías éticas de algoritmos corporativos.	*
				8. Desarrollo de métricas de equidad.	*
				9. Derecho a explicaciones claras.	*
				10. Educación en ética de la IA.	*
Participación ciudadana en las decisiones de política de IA.	Fomentar la participación de la ciudadanía en la formulación de políticas relacionadas con la inteligencia artificial. Esto se lograría a través de procesos de consulta pública, foros de discusión y la incorporación de perspectivas diversas en la toma de decisiones para garantizar que las políticas sean representativas y éticas.	11. Foros de consulta pública sobre ética en la IA.	*		
		12. Plataforma digital de participación ciudadana en políticas de IA.	*		
		13. Programa de educación ciudadana en IA.	*		
		14. Consejo asesor ciudadano en tecnología.	*		
		15. Talleres regionales de participación ciudadana.	*		
		Auditoría ética de sistemas de IA.	Auditoría ética de sistemas de IA.	16. Desarrollo de estándares de auditoría ética.	*
				17. Entidad o comité nacional que apoye temas relacionados con la auditoría ética en IA.	*

Foco Innovación 1. Ética y Gobernanza en IA

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Educación ética en IA.	Implementar mecanismos de auditoría ética para evaluar y garantizar el cumplimiento de los principios éticos en los sistemas de inteligencia artificial. Esto implica la creación de estándares de auditoría y la designación de entidades independientes para llevar a cabo auditorías éticas periódicas en aplicaciones sensibles que requieran de una vigilancia. Desarrollar programas de educación ética en inteligencia artificial dirigidos a profesionales, tomadores de decisiones y la sociedad en general. Esto incluye la sensibilización sobre los dilemas éticos asociados con la IA y la promoción de una cultura ética en el desarrollo y uso de la tecnología.	18. Registro de resultados de auditorías.	*
		19. Programa de capacitación en auditoría ética.	*
		20. Establecer colaboraciones con expertos en ética, derecho, inteligencia artificial y tecnología de la información. Incorporar diversas perspectivas para abordar la complejidad de los aspectos éticos en la auditoría de sistemas de IA.	*
		21. Currículo de ética en IA para Instituciones Educativas.	*
		22. Campañas de sensibilización ética en medios de comunicación.	*
		23. Programas de capacitación para profesionales en ejercicio (reskilling).	*
		24. Herramientas interactivas para generar conexiones más estrechas y comprensivas con las comunidades interesadas relacionados con explicabilidad de la IA.	*
		25. Foros de ética en la comunidad.	*

***Nota:** Las rutas de innovación no puntuadas y representadas con el símbolo asterisco presentan rutas que no fue posible estimar un valor de TRL, sin embargo, lograr alcanzar la ruta de innovación es un indicador claro de adopción de la inteligencia artificial ética.

Tabla 7

Educación, Investigación e Innovación: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.

Foco Innovación 2. Educación, Investigación e Innovación en IA

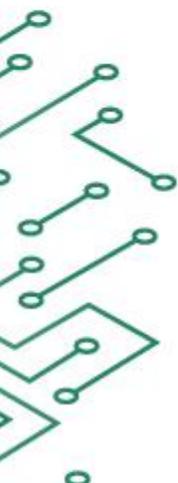
Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Integración de la inteligencia artificial en la educación.	Diseñar e implementar planes de estudio que integren la inteligencia artificial en todos los niveles educativos. Esto incluye la creación de contenido educativo, programas de formación de docentes y la incorporación de conceptos de IA en las materias existentes.	26. Desarrollo de contenido educativo en IA.	7
		27. Programas de formación continua para docentes.	7
		28. Cátedras especializadas en instituciones de educación superior	7
		29. Proyectos interdisciplinarios de IA.	5
		30. Creación de redes de colaboración.	5
Centros de Investigación y Desarrollo en IA.	Establecer centros de investigación y desarrollo especializados en inteligencia artificial en colaboración con instituciones educativas y empresas. Estos centros servirían como motores de innovación, impulsando la investigación y el desarrollo de soluciones avanzadas de IA.	31. Creación de infraestructura para centros de investigación.	4
		32. Programas de investigación colaborativos.	5
		33. Becas para doctorados nacionales enfocadas en investigación en IA.	3
		34. Desarrollo de plataformas tecnológicas abiertas.	6
		35. Vinculación con la industria y empresas.	5
Programas de capacitación y certificación en IA.	Desarrollar programas de capacitación y certificación en inteligencia artificial para profesionales y estudiantes. Estos programas abordarían desde conceptos básicos hasta habilidades avanzadas, asegurando que la fuerza laboral esté equipada para trabajar en un entorno impulsado por la IA.	36. Diseño de currículos educativos especializados.	3
		37. Plataforma de aprendizaje en línea.	7
		38. Programas de certificación reconocidos en IA.	7
		39. Alianzas con Instituciones Educativas y Empresas.	3
		40. Becas y subsidios para la formación en IA.	2
Fomento de la colaboración Universidad-Industria.	Establecer mecanismos efectivos para la colaboración entre universidades y la industria en proyectos de investigación y desarrollo en inteligencia artificial. Esto facilitaría la transferencia de conocimientos, la aplicación práctica de la IA y la creación de soluciones adaptadas a las necesidades empresariales.	41. Centros de innovación conjunta Universidad, Empresa, Estado (UEES).	2
		42. Programas de residencia empresarial.	4
		43. Fondos de investigación conjunta UEES.	2
		44. Plataforma de colaboración virtual.	6
		45. Eventos y conferencias conjuntas UEES.	2
		46. Diseño de contenido interactivo.	5
		47. Entornos virtuales de desarrollo.	6

Foco Innovación 2. Educación, Investigación e Innovación en IA

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Desarrollo de plataformas educativas de IA.	Crear plataformas educativas especializadas en inteligencia artificial que faciliten el aprendizaje autodirigido. Estas plataformas proporcionarían recursos interactivos, herramientas de desarrollo y espacios para proyectos prácticos, fomentando la innovación y la experimentación.	48. Programas de certificación especializada.	5
		49. Colaboración en proyectos interinstitucionales.	2
		50. Programas de mentores en IA.	3

Tabla 8

Datos y Organizaciones: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.



Foco Innovación 3. Datos y Organizaciones

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Gestión ética y responsable de datos.	Desarrollar prácticas y políticas para la gestión ética y responsable de datos en empresas. Esto implica la implementación de estándares de privacidad, seguridad y transparencia en el manejo de datos, garantizando el respeto de los derechos de los usuarios.	51. Desarrollo de políticas éticas de datos.	6
		52. Implementación de sistemas de privacidad por diseño.	7
		53. Auditorías éticas de datos.	6
		54. Capacitación en ética de datos para equipos.	7
		55. Desarrollo de herramientas de evaluación ética.	6
Análisis predictivo y toma de decisiones.	Integrar herramientas de análisis predictivo basadas en inteligencia artificial para mejorar la toma de decisiones empresariales. Estas herramientas utilizarían algoritmos avanzados para analizar grandes conjuntos de datos, identificar patrones y proporcionar información valiosa para la planificación estratégica.	56. Desarrollo de plataforma de análisis predictivo.	7
		57. Implementación de modelos predictivos específicos o a la medida.	7
		58. Integración de herramientas de análisis en sistemas empresariales	9
		59. Desarrollo de capacidades de análisis en equipos.	9
		60. Establecimiento de políticas éticas en la toma de decisiones.	7
Desarrollo de soluciones personalizadas.	Impulsar el desarrollo de soluciones de inteligencia artificial personalizadas para empresas en diversos sectores. Esto incluye la creación de sistemas adaptados a las necesidades específicas de cada empresa, desde la automatización de procesos internos hasta la mejora de la experiencia del cliente.	61. Plataforma de desarrollo personalizado por empresa.	9
		62. Automatización de procesos internos.	9
		63. Mejora de la experiencia del cliente.	9
		64. Desarrollo de chatbots personalizados.	9
		65. Integración de soluciones con sistemas existentes.	9
Integración de IA en la cadena de suministro.	Implementar tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro. Esto abarcaría desde la predicción de demanda y optimización de inventarios hasta la mejora de la eficiencia logística, garantizando una cadena de suministro ágil y eficiente.	66. Predicción de demanda avanzada.	9
		67. Optimización de inventario automatizada.	9
		68. Rastreo y gestión de activos inteligentes.	9
		69. Optimización de rutas de distribución.	9
		70. Gestión de inventarios en tiempo real.	9
Seguridad y protección de datos empresariales.		71. Detección de amenazas predictiva.	7
		72. Autenticación biométrica avanzada.	9

Foco Innovación 3. Datos y Organizaciones

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
	Desarrollar soluciones de seguridad avanzadas basadas en inteligencia artificial para proteger los datos empresariales. Estas soluciones abordarían la detección de amenazas, la autenticación biométrica y la prevención de ataques cibernéticos, fortaleciendo la ciberseguridad en el entorno empresarial.	73. Prevención de ataques cibernéticos en tiempo real.	7
		74. Análisis de vulnerabilidades automatizado.	9
		75. Gestión de identidad y acceso basada en IA.	7

Tabla 9

Industrias Innovadoras y Emergentes: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.

Foco Innovación 4. Industrias Innovadoras y Emergentes

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Automatización avanzada de procesos industriales.	Implementar sistemas de automatización avanzada en los procesos industriales. Esto incluye la adopción de robótica, sistemas autónomos y la integración de tecnologías de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia, la calidad y la flexibilidad en la producción.	76. Implementación de sistemas robóticos colaborativos.	4
		77. Integración de tecnologías de visión por computadora.	9
		78. Optimización de procesos mediante algoritmos de aprendizaje de máquina.	9
		79. Desarrollo de sistemas autónomos de transporte.	6
		80. Plataforma de monitoreo predictivo de fallo de maquinaria.	7
Internet de las Cosas (IoT) en la Industria.	Desarrollar e implementar soluciones basadas en IoT para la interconexión de dispositivos y equipos en la industria. Esto permitirá la recopilación y análisis en tiempo real de datos, facilitando la toma de decisiones informada y la optimización de procesos.	81. Desarrollo de sensores inteligentes para monitorización.	7
		82. Sistema de monitorización de activos (rastrear la ubicación, el estado y el rendimiento de maquinaria y equipos en entornos industriales).	8
		83. Plataforma de gestión de datos IoT.	8
		84. Red de comunicación IoT segura.	6
		85. Sistema predictivo de mantenimiento de equipos industriales.	6
Fabricación aditiva y personalización de productos.	Integrar tecnologías de fabricación aditiva, como la impresión 3D, para permitir la personalización de productos a gran escala. La inteligencia artificial puede facilitar el diseño personalizado, la optimización de la producción y la entrega de soluciones únicas a los consumidores.	86. Plataforma de diseño personalizado (integrar opciones de diseño intuitivas y herramientas de visualización en 3D).	6
		87. Optimización de procesos de impresión 3D.	6
		88. Sistema de control de calidad automatizado.	7
		89. Red logística para personalización (mejorar experiencia del cliente).	6
		90. Reciclaje inteligente de materiales.	4
Digitalización y gemelos digitales.		91. Desarrollo de gemelos digitales de procesos industriales.	6
		92. Gemelos digitales para control de calidad.	6

Foco Innovación 4. Industrias Innovadoras y Emergentes

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Sostenibilidad y eficiencia energética.	Integrar soluciones de inteligencia artificial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética en la industria. Esto abarcaría desde la monitorización en tiempo real de consumo energético hasta la implementación de estrategias de producción más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.	93. Simulación avanzada en la investigación y desarrollo (La inteligencia artificial facilitará la exploración de múltiples variables, acelerando el proceso de diseño y reduciendo los costos asociados).	4
		94. Gestión eficiente de la cadena de suministro.	6
		95. Gemelos digitales para mantenimiento predictivo.	6
		96. Optimización del consumo energético en procesos industriales.	6
		97. Implementación de estrategias de producción sostenible.	6
		98. Predicción y gestión de demanda energética.	5
		99. Eficiencia en la generación de energía renovable.	5
		100. Gestión inteligente de la iluminación y climatización.	6

Tabla 10

Privacidad, Ciberseguridad y Defensa: Foco Innovación y Nivel de Madurez Tecnológica.

Foco Innovación 5. Privacidad, Ciberseguridad y Defensa

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
Vigilancia y protección de recursos naturales.	Desarrollar sistemas de vigilancia basados en inteligencia artificial para la protección de recursos naturales, como bosques, ríos y áreas protegidas. Esto incluiría la detección de actividades ilegales, la monitorización de la biodiversidad y la prevención de la deforestación.	101. Sistema de detección de actividades ilegales en bosques.	5
		102. Monitorización de biodiversidad con visión artificial.	6
		103. Prevención de incendios forestales con análisis predictivo.	4
		104. Rastreo de contaminación en cuerpos de agua.	5
		105. Dron inteligente para patrullaje aéreo.	6
Gestión eficiente de residuos.	Implementar soluciones inteligentes para la gestión de residuos, utilizando algoritmos de inteligencia artificial para optimizar la recolección, clasificación y reciclaje. Esto contribuiría a la reducción de la contaminación ambiental y promovería prácticas sostenibles.	106. Sistema de recolección de residuos inteligente.	6
		107. Clasificación automática de residuos con visión por computadora.	6
		108. Optimización de centros de reciclaje.	4
		109. Aplicación móvil para información y reciclaje.	6
		110. Análisis predictivo de generación de residuos.	4
Monitoreo de calidad del aire y agua.	Desarrollar sistemas de monitoreo avanzado mediante sensores y tecnologías de inteligencia artificial para evaluar la calidad del aire y agua. Estos sistemas permitirían una respuesta rápida ante posibles amenazas ambientales y contribuirían a la salud pública.	111. Red de sensores inteligentes (calidad del aire y agua).	6
		112. Sistema de alerta temprana para contaminación.	5
		113. Plataforma de información ambiental interactiva.	6
		114. Modelo predictivo de calidad del agua.	4
		115. Análisis de impacto ambiental (calidad del aire y agua).	4
Planificación urbana sostenible.	Utilizar la inteligencia artificial para la planificación urbana sostenible, considerando factores como la eficiencia energética, la movilidad y la conservación del entorno natural. Esto implicaría la creación de modelos predictivos para guiar el desarrollo de ciudades más ecológicas.	116. Modelo predictivo de eficiencia energética.	4
		117. Sistema de gestión de movilidad inteligente.	5
		118. Evaluación del impacto ambiental en el desarrollo urbano.	5
		119. Diseño urbano sostenible asistido por IA.	5
		120. Plataforma de participación ciudadana en planificación urbana.	6
Prevención y mitigación de desastres naturales.		121. Sistema de alerta temprana para inundaciones.	6
		122. Monitorización continua de movimientos sísmicos.	3

Foco Innovación 5. Privacidad, Ciberseguridad y Defensa

Temáticas	Descripción	Innovaciones	TRL
	Desarrollar sistemas de alerta temprana basados en inteligencia artificial para prevenir y mitigar desastres naturales. Estos sistemas podrían utilizar datos geoespaciales y modelos predictivos para anticipar eventos como inundaciones, terremotos o deslizamientos de tierra.	123. Predicción de deslizamientos de tierra.	3
		124. Simulación de tsunamis y respuesta rápida.	3
		125. Plataforma de gestión de crisis integrada.	6
Vigilancia y monitoreo inteligente.	Desarrollar sistemas de vigilancia y monitoreo inteligente mediante la implementación de tecnologías de inteligencia artificial. Esto incluye la utilización de cámaras inteligentes, análisis de video y reconocimiento facial para mejorar la capacidad de vigilancia en áreas estratégicas y mejorar la respuesta a situaciones de emergencia.	126. Desarrollo de cámaras inteligentes en espacios públicos.	4
		127. Plataforma de monitoreo de tráfico inteligente.	3
		128. Sistema de vigilancia marítima autónomo.	4
		129. Plataforma de seguridad en entornos críticos.	4
		130. Sistema de monitoreo forestal con reconocimiento de incendios.	3

Definición de la política

Objetivo General

Garantizar la adopción ética y sostenible de la Inteligencia Artificial en Colombia.

Objetivos Específicos

OE1. Lograr que la población colombiana comprenda y confíe en las aplicaciones de inteligencia artificial desarrolladas por las organizaciones a través de la implementación del 100% de aplicaciones que garanticen la privacidad de los usuarios, sean transparentes, responsables y justas, fomentando una percepción positiva y una participación informada en la sociedad y gobierno digital.

OE2. Aumentar en un 50% la participación de mujeres y grupos subrepresentados en la IA, mediante programas educativos y de capacitación, asegurando una fuerza laboral diversa y competente en el campo.

OE3. Implementar marcos éticos sólidos para la implementación de aplicaciones de IA, con el fin de que el 100% de la gobernanza de datos en el ámbito de la inteligencia artificial se rijan por principios éticos y legales.

OE4. Incrementar la adopción de la inteligencia artificial en el 50% de las empresas y sectores gubernamentales, generando confianza mediante soluciones demostrativas y educación continua, apoyándose en las iniciativas de gobierno digital de Colombia.

OE5. Desarrollar soluciones basadas en inteligencia artificial que aborden problemáticas sociales, económicas y ambientales de manera innovadora, apoyando el cumplimiento de las metas propuestas en el Plan Nacional de Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Plan de Acción

Luego de que las 130 rutas de innovación propuestas son sometidas a la evaluación de los expertos participantes en el proceso de construcción, y posteriormente se someten a una consulta ciudadana, se logra establecer prioridades y recomendaciones dentro de cada entorno. De este modo, se identifican las rutas de innovación que contribuyen de manera significativa a la consecución de los objetivos establecidos en esta hoja de ruta.

Rutas para Entorno Ética y Gobernanza

- Las 5 temáticas propuestas en el entorno fueron catalogadas de alto impacto, por lo tanto, se sugiere que deban ser exploradas.
- Recomendaciones de la OCDE:
 1. Explorar el desarrollo y la ejecución de una estrategia y una hoja de ruta de la IA en el sector público para América Latina y el Caribe a través de un abordaje regional colaborativo.
 2. Desarrollar y adoptar estrategias y hojas de ruta nacionales para la IA en el sector público.
 3. Elaborar una estrategia de datos nacional para el sector público que abarque distintos aspectos relativos a los datos y que cimente la aplicación de la IA.
 4. Explorar las posibilidades de cooperar y colaborar a escala regional para elaborar proyectos e iniciativas de IA en el sector público.
 5. Respalda las actividades que se realicen en materia de IA a nivel subnacional y reflejarlas en políticas e iniciativas de IA más amplias.
 6. Fortalecer el énfasis en la implementación de estrategias de IA en el sector público para garantizar la concreción de los compromisos asumidos.
 7. Tomar medidas que respalden la sostenibilidad a largo plazo de las estrategias e iniciativas de la IA en el sector público.
 8. Llevar a la práctica los Principios de la OCDE sobre Inteligencia Artificial y configurar un marco nacional de ética para una IA fiable.
 9. Tener en cuenta como un elemento central las consideraciones sobre el uso de una IA fiable en el sector público que se identifican en el presente informe.
 10. Arbitrar los medios para generar una capacidad de liderazgo sostenida a nivel central e institucional que guíe y supervise la adopción de la IA en el sector público.

11. Valerse de técnicas de gobernanza anticipada de la innovación para prepararse para el futuro.
 12. Tener en cuenta como un elemento central las consideraciones sobre gobernanza que se identifican en el presente informe.
 13. Tener en cuenta enfáticamente como un elemento central los habilitadores críticos de la IA en el sector público que se identifican en el presente informe.
- Automatizar tareas rutinarias

Rutas para Entorno Educación, Investigación e Innovación

Se adicionan algunas rutas de innovación que surgen después de la consulta con expertos y ciudadanía:

- Chatbots Educativos: Desarrollo de asistentes virtuales que proporcionen apoyo educativo personalizado a los estudiantes, facilitando la interacción y resolviendo dudas de manera eficiente.
- IA para el Aprendizaje y la Evaluación: Implementación de sistemas de inteligencia artificial que adapten el proceso de aprendizaje según las necesidades individuales de los estudiantes y ofrezcan evaluaciones personalizadas.
- Sistemas de Tutoría Inteligente: Creación de plataformas de tutoría virtual con capacidad para analizar el progreso del estudiante, identificar áreas de mejora y proporcionar orientación específica.
- Sistemas de Aprendizaje Basado en la Colaboración y el Diálogo utilizando Procesamiento del Lenguaje Natural: Integración de sistemas que fomenten la colaboración entre estudiantes a través de diálogos asistidos por inteligencia artificial, promoviendo el aprendizaje conjunto.
- Entornos de Aprendizaje Exploratorio: Desarrollo de ambientes educativos interactivos que permitan a los estudiantes explorar conceptos y temas de manera autónoma, respaldados por la inteligencia artificial.
- Evaluación Automatizada de la Escritura: Implementación de herramientas de inteligencia artificial para evaluar automáticamente la escritura, proporcionando retroalimentación precisa y objetiva a los estudiantes.
- Aprendizaje de Idiomas y Lectura con Apoyo de la IA: Creación de aplicaciones que utilicen la inteligencia artificial para facilitar el aprendizaje de idiomas y la mejora de habilidades de lectura a través de métodos personalizados.
- Aprendizaje Colaborativo con IA: Integración de sistemas de inteligencia artificial que fomenten el aprendizaje colaborativo, facilitando la interacción entre estudiantes y promoviendo la resolución conjunta de problemas.
- Modelo de 'Doble Docente' Humano de IA: Diseño de un enfoque educativo que combine la enseñanza humana con la asistencia de un docente virtual basado en inteligencia artificial, optimizando la experiencia de aprendizaje.
- Asistentes de Enseñanza Impulsados por la IA: Desarrollo de asistentes virtuales que apoyen a los educadores en la planificación, ejecución y seguimiento de clases, utilizando la inteligencia artificial para optimizar el proceso educativo.

Rutas para Entorno Datos y Organizaciones

- Visión artificial en los distintos procesos
- Comprensión de texto en lenguaje natural
- Agentes virtuales o interfaces conversacionales
- Comprensión del habla en lenguaje natural
- Segmentación y captación de nuevos clientes
- Modelado y análisis de riesgos
- Impulsar el desarrollo de soluciones de inteligencia artificial personalizadas para empresas en diversos sectores. Esto incluye la creación de sistemas adaptados a las necesidades específicas de cada empresa, desde la automatización de procesos internos hasta la mejora de la experiencia del cliente.
- Implementar tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro. Esto abarcaría desde la predicción de demanda y optimización de inventarios hasta la mejora de la eficiencia logística, garantizando una cadena de suministro ágil y eficiente.

Rutas para Entorno Industrias Innovadoras y Emergentes

- Implementar sistemas de automatización avanzada en los procesos industriales. Esto incluye la adopción de robótica, sistemas autónomos y la integración de tecnologías de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia, la calidad y la flexibilidad en la producción.
- Impulsar la digitalización de la industria mediante la creación de gemelos digitales de procesos y productos. La inteligencia artificial facilitaría la creación de réplicas virtuales para el monitoreo, simulación y optimización continua de sistemas industriales.
- Integrar soluciones de inteligencia artificial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética en la industria. Esto abarcaría desde la monitorización en tiempo real de consumo energético hasta la implementación de estrategias de producción más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Rutas para Entorno Privacidad, Ciberseguridad y Defensa

- Ciberataques y falta de protocolos
- Penetración ilegal de la IA y ataques adversarios
- Desarrollar sistemas de vigilancia basados en inteligencia artificial para la protección de recursos naturales, como bosques, ríos y áreas protegidas. Esto incluiría la detección de actividades ilegales, la monitorización de la biodiversidad y la prevención de la deforestación.
- Implementar soluciones inteligentes para la gestión de residuos, utilizando algoritmos de inteligencia artificial para optimizar la recolección, clasificación y

reciclaje. Esto contribuiría a la reducción de la contaminación ambiental y promovería prácticas sostenibles.

- Desarrollar sistemas de monitoreo avanzado mediante sensores y tecnologías de inteligencia artificial para evaluar la calidad del aire y agua. Estos sistemas permitirían una respuesta rápida ante posibles amenazas ambientales y contribuirían a la salud pública.
- Utilizar la inteligencia artificial para la planificación urbana sostenible, considerando factores como la eficiencia energética, la movilidad y la conservación del entorno natural. Esto implicaría la creación de modelos predictivos para guiar el desarrollo de ciudades más ecológicas.
- Desarrollar sistemas de alerta temprana basados en inteligencia artificial para prevenir y mitigar desastres naturales. Estos sistemas podrían utilizar datos geoespaciales y modelos predictivos para anticipar eventos como inundaciones, terremotos o deslizamientos de tierra.
- Desarrollar sistemas de vigilancia y monitoreo inteligente mediante la implementación de tecnologías de inteligencia artificial. Esto incluye la utilización de cámaras inteligentes, análisis de video y reconocimiento facial para mejorar la capacidad de vigilancia en áreas estratégicas y mejorar la respuesta a situaciones de emergencia.

Mecanismos de Seguimiento y Evaluación

La presente política será aplicable entre 2024 y 2033. Su seguimiento se hará de manera semestral, con el reporte de inicio en junio de 2024 y el de cierre, con corte al 30 de diciembre de 2033. A continuación, se presentan mecanismos de seguimiento y evaluación que podrán ser ejecutados para garantizar la adopción ética y sostenible de la IA en Colombia:

Mecanismos de Seguimiento

Indicadores de Cumplimiento:

- Establecer indicadores específicos para cada objetivo específico que permitan medir el progreso hacia su logro.
- Utilizar métricas cuantitativas y cualitativas para evaluar aspectos como la privacidad, transparencia, participación, diversidad de género, cumplimiento ético y adopción de la IA.

Encuestas y Consultas Periódicas:

- Realizar encuestas y consultas periódicas a la población colombiana para evaluar su percepción y nivel de confianza en las aplicaciones de IA.
- Obtener retroalimentación continua de usuarios y partes interesadas para adaptar y mejorar las políticas y prácticas.

Monitoreo de Participación en Programas Educativos:

- Evaluar la participación en programas educativos y de capacitación para mujeres y grupos subrepresentados en la IA.
- Realizar seguimiento continuo para asegurar el cumplimiento del objetivo de aumentar la participación en un 50%.

Mecanismos de Evaluación

Informe de Adopción Empresarial:

- Generar informes periódicos que evalúen el nivel de adopción de la inteligencia artificial en organizaciones.
- Analizar el impacto de soluciones demostrativas y programas educativos en la generación de confianza.

Evaluación del Desarrollo de Soluciones Sociales:

- Evaluar el impacto y la innovación de las soluciones basadas en inteligencia artificial que aborden problemáticas sociales, económicas y ambientales.
- Medir la contribución al cumplimiento de metas del Plan Nacional de Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Revisión de Marco Ético:

- Realizar revisiones regulares a las investigaciones relacionadas con la producción de nuevo conocimiento referente a marcos éticos, legales y normativos de aplicaciones de IA.

Análisis de Diversidad en la Fuerza Laboral:

- Evaluar la composición de la fuerza laboral en el campo de la IA para garantizar el cumplimiento del objetivo de aumentar la participación de mujeres y grupos subrepresentados en un 50%.

Referencias

Acosta, D. (2020). *Industria 4.0, ¿en qué está Colombia?* <https://www.alcentro.co/industria-4-0-en-que-esta-colombia/>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). (agosto 2022). *Colombia, país pionero en adoptar las recomendaciones éticas de la Unesco sobre el uso de la inteligencia artificial (IA)*. Recuperado de <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17311-colombia-pais-pionero-en-adoptar-las-re>

Banco de desarrollo de América Latina-CAF. (2021). *Gobernanza de datos y capacidades estatales para la pospandemia*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1765>

BBVA. (2022). *¿Qué es la sostenibilidad? Un camino urgente y sin marcha atrás*. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-sostenibilidad-un-camino-urgente-y-sin-marcha-atras/>

Cabrol, M., González A., N., Pombo, C., & Sánchez A., R. (2020). *Adopción ética y responsable de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/es/fair-lac-adopcion-etica-y-responsable-de-la-inteligencia-artificial-en-america-latina-y-el-caribe>

Cai, W.; Borlace, S.; Lengaigne, M.; Rensch, P.; Collins, M.; Vecchi, G.; Wu, L. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*.

Castaño, D. (2021). *La gobernanza ética de los sistemas de Inteligencia Artificial*. <https://www.uexternado.edu.co/wp-content/uploads/2021/04/Capitulo1Tomo3.pdf>

Chatterjee, S., Chaudhuri, R., Kamble, S., Gupta, S., & Sivarajah, U. (2023). Adoption of Artificial Intelligence and Cutting-Edge Technologies for Production System Sustainability: A Moderator-Mediation Analysis. *Information Systems Frontiers*, 25(5), 1779-1794. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10317-x>

Ministerio de Defensa Nacional de Uruguay. Conferencia Sudamericana de Defensa SOUTHDEC. (2023). Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-defensa-nacional/comunicacion/noticias/conferencia-sudamericana-defensa-southdec-2023>

Collins, M., A.; Cai, S.-I.; Ganachaud, W.; Guilyardi, A.; Jin, E.; Wittenberg, A. (2010). The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. *Nature Geoscience*.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). Encuesta pulso empresarial - Resultados para la ronda 30. Recuperado de

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pulso-empresarial/presentacion-pulso-empresarial-sep22-oct22.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2021). Encuesta de desarrollo e innovación tecnológica (EDIT). Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/encuesta-de-desarrollo-e-innovacion-tecnologica-edit>

Universidad EAFIT. (2019). EAFIT dialoga en el centro de la Misión de Sabios. Recuperado de <https://www.eafit.edu.co/noticias/revistauniversidadeafit/174/eafit-dialogo-mision-sabios>

El País. (2023). *Fuerzas Militares de Colombia utilizarán Inteligencia Artificial en sus operaciones*. <https://www.elpais.com.co/colombia/fuerzas-militares-de-colombia-utilizaran-inteligencia-artificial-en-sus-operaciones-esto-se-sabe-1012.html>

Farca Amigo, A. (2022). ¿Qué es la adopción tecnológica y cómo implementarla?. Centro México Digital. Recuperado de <https://centromexico.digital/que-es-la-adopcion-tecnologica/>

Future Cities Canada. (2019). *Data Trusts: A New Tool for Data Governance*. <https://portal.futurecitiescanada.ca/resources/data-trusts-a-new-tool-for-data-governance/>

Galceran-Vercher, M. (2023). *Inteligencia artificial y ciudades: la carrera global hacia la regulación de los algoritmos*. Programa Ciudades Globales, CIDOB. https://www.cidob.org/es/publicaciones/serie_de_publicacion/notes_internacionales_cidob/286/in-teligencia-artificial-y-ciudades-la-carrera-global-hacia-la-regulacion-de-los-algoritmos

Gutiérrez, J. D., Muñoz-Cadena, S., & Castellanos-Sánchez, M. (2023). Sistemas de decisión automatizada en el sector público colombiano (Versión V1) [Conjunto de datos]. Universidad del Rosario.

Gutiérrez, J. D., & Muñoz-Cadena, S. (2023). Adopción de sistemas de decisión automatizada en el sector público: Cartografía de 113 sistemas en Colombia. GIGAPP Estudios Working Papers, 10(267-272), 365-395.

Gutiérrez, J. D., & Castellanos-Sánchez, M. (2023). Transparencia algorítmica y Estado Abierto en Colombia. Reflexión Política, 25(52), 6–21.

Heras, P. (2023) *El reto de la inteligencia artificial para la seguridad y defensa*. <https://www.unav.edu/web/global-affairs/el-reto-de-la-inteligencia-artificial-para-la-seguridad-y-defensa>

IBM. (2022). *IBM Global AI Adoption Index 2022*. <https://www.ibm.com/downloads/cas/GVAGA3JP>

IBM. (2023). *IBM Global AI Adoption Index 2023*. <https://newsroom.ibm.com/2024-01-10-Data-Suggests-Growth-in-Enterprise-Adoption-of-AI-is-Due-to-Widespread-Deployment-by-Early-Adopters>

IBM. (2023). ¿Qué es la ética de la IA? Recuperado de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/ai-ethics>

Inteligencia Artificial Colombia. (2024). Latinoamérica solo forma el 7 por ciento del talento TI que necesita. Recuperado de <https://ia-colombia.co/latinoamerica-solo-forma-el-7-por-ciento-del-talento-ti-que-el-mercado-demanda/>

Latam. (2023). Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial. <https://indicelatam.cl/wp-content/uploads/2023/08/CAP-G-COLOMBIA.pdf>

Miao, F., Holmes, W., Ronghuai Huang, & Hui Zhang. (2021). Inteligencia artificial y educación: guía para las personas a cargo de formular políticas. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379376>

Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. (2019). *Aspectos Básicos de la Industria 4.0*. <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=46683bc7-67e3-4568-873e-635c80c303df>

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. (2023). Guía metodológica para el diseño de hojas de ruta de políticas de investigación e innovación orientadas por misiones. Recuperado de: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/Dise%C3%B1o%20hojas%20de%20ruta%20-%20POM%20V%2016%20Feb%2023%20Rev%20CT.pdf

Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones [MinTIC]. (2022). *Implementación de los modelos de intercambio de datos. Estado del arte y recomendaciones de política y gobernanza*. https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-238511_recurso_2.pdf

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2022). Colombia adopta de forma temprana recomendaciones de ética en Inteligencia Artificial de la Unesco para la región. Recuperado de <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/208109:Colombia-adopta-de-forma-temprana-recomendaciones-de-etica-en-Inteligencia-Artificial-de-la-Unesco-para-la-region#:~:text=Colombia%20se%20convirti%C3%B3%20en%20uno,de%20las%20Naciones%20Unidas%20para>

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2020). *COLOMBIA Y LA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: Propuestas del Foco de Tecnologías Convergentes e Industrias 4.0 (Volumen 9)*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://doi.org/10.17230/9789585135116vdyc>

Modor Intelligence. (s.f). *IA en el análisis del tamaño y la participación de la industria aeroespacial y de defensa: tendencias y pronósticos de crecimiento (2023-2028)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/artificial-intelligence-market>

Nafizah, U. Y., Roper, S., & Mole, K. (2024). Estimating the innovation benefits of first-mover and second-mover strategies when micro-businesses adopt artificial intelligence and machine learning. *Small Business Economics*, 62(1), 411-434. <https://doi.org/10.1007/s11187-023-00779-x>

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Asamblea General de las Naciones Unidas. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT). (2021). *Informe de Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Recuperado de https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2023/06/Informe_indicadores_OCyT_2021.pdf

OCDE. (2019). *Mejorar el acceso a los datos y su intercambio: conciliar los riesgos y beneficios de la reutilización de datos en todas las sociedades*. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/276aaca8-en/index.html?itemId=/content/publication/276aaca8-en>

OECD/CAF. (2022). *The Strategic and Responsible Use of Artificial Intelligence in the Public Sector of Latin America and the Caribbean*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1f334543-en>

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*. <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>

Pombo, C., Cabrol, M., González Alarcón, N., & Sánchez Ávalos, R. (2020). *fAIr LAC: Adopción ética y responsable de la inteligencia artificial en América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.18235/0002169>

Portal Único del Estado Colombiano. (2023). *Plan nacional de infraestructura de datos: Iniciativas*. Recuperado de <https://infraestructuradatos.gov.co/798/w3-propertyvalue-379027.html>

Presidencia de la República de Colombia. (2022). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: "Colombia, potencia mundial de la vida"*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.

Santander Universidades. (2022). *Qué es la sostenibilidad: definición, tipos y ejemplos*. Recuperado de <https://www.santanderopenacademy.com/es/blog/que-es-la-sostenibilidad.html>

Secretaría de Innovación Pública, Jefatura de Gabinete de Ministros de Argentina. (2023). *Recomendaciones para una Inteligencia Artificial Fiable*. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/06/recomendaciones_para_una_inteligencia_artificial_fiable.pdf

Sieber, R., Brandusescu, A., Adu-Daako, A., & Sangiambut, S. (2024). Who are the publics engaging in AI? *Information, Communication & Society*. <https://doi.org/10.1177/09636625231219853>

Soto Arriaza, A., & Durán Rojas, R. (2023). *Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA)*. Centro Nacional de Inteligencia Artificial. Recuperado de <https://indicelatam.cl/wp-content/uploads/2023/08/ILIA-2023.pdf>

Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI). (2023). THE AI INDEX REPORT: Measuring trends in Artificial Intelligence. Recuperado de <https://aiindex.stanford.edu/report/>

Unesco. (2023). Aprendizaje digital y transformación de la educación. La inteligencia artificial en la educación. Recuperado de <https://www.unesco.org/es/digital-education/artificial-intelligence>

Vera Otálvaro, L. M., & Atis Ortega, K. L. (2023). *Adopción de Tecnologías de Inteligencia Artificial: un estudio para las empresas en Colombia*. Universidad EAFIT. Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/32618/LinaMaria_VeraOtalvaro_2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y



@MincienciasCo



@MincienciasCo



@Minciencias_Co



@Minciencias
Canal Oficial