



Innovation Telescope Zoom Colombia, Centroamerica y Caribe

2025

indracompany.com

 **INDRA**
GROUP

Índice

INTRODUCCIÓN.....	6
I. Principales tendencias identificadas	7
II. Grado de adopción y madurez	8
• Grado de adopción	8
» Grado de adopción tecnología y sector	9
» Comparativa de adopción por sector (global tecnologías).....	10
» Comparativa de adopción por tecnología (global mercados)	11
1. AI VALUE SOLUTIONS	12
1.1. Machine customer	12
Introducción.....	12
1.1.1. Impacto en los negocios	12
1.1.2. Enfoque técnico.....	13
1.1.2.1. Tecnologías clave	13
1.1.2.2. Arquitectura	13
1.1.3. Casos de uso por mercado	13
1.1.4. Consideraciones de mercado.....	13
1.1.5. Empresas y startups de referencia	14
1.1.6. Estadísticas recientes	14
1.1.7. Referencias	14
2. MODERNIZACIÓN DE APLICACIONES	15
2.1. Polyfunctional Robots.....	15
Introducción.....	15
2.1.1. Impacto en los negocios	15
2.1.2. Enfoque técnico.....	16
2.1.2.1. Tecnologías clave	16
2.1.2.2. Arquitectura	16
2.1.3. Casos de uso por mercado.....	16
2.1.4. Consideraciones de mercado	16
2.1.5. Empresas y startups de referencia	17
2.1.6. Estadísticas recientes	17
2.1.7. Referencias	17
3.DATA MODERNIZATION	18
3.1. Quantum technologies.....	18
Introducción.....	18
3.1.1. Impacto en los negocios	18
3.1.2. Enfoque técnico.....	19
3.1.2.1. Tecnologías clave	19
3.1.2.2. Arquitectura de integración	19

3.1.3. Casos de uso por mercado.....	19
3.1.4. Consideraciones de mercado	20
3.1.5. Empresas y startups de referencia	20
3.1.6. Estadísticas recientes.....	20
3.1.7. Referencias	20
3.2. Spatial computing.....	21
Introducción.....	21
3.2.1. Impacto en los negocios	21
3.2.2. Enfoque técnico.....	22
3.2.2.1. Tecnologías clave	22
3.2.2.2. Arquitectura de integración	22
3.2.3. Casos de uso por mercado	22
3.2.4. Consideraciones de mercado	22
3.2.5. Empresas y startups de referencia	23
3.2.6. Estadísticas recientes	23
3.2.7. Referencias	23
4. CUSTOMER FIRST	24
4.1. Neurological enhancements	24
Introducción.....	24
4.1.1. Impacto en los negocios.....	24
4.1.2. Enfoque técnico.....	25
4.1.2.1. Tecnologías clave	25
4.1.2.2. Arquitectura de integración	25
4.1.3. Casos de uso por mercado	25
4.1.4. Consideraciones de mercado.....	25
4.1.5. Empresas y startups de referencia	26
4.1.6. Estadísticas recientes.....	26
4.1.7. Referencias	26
5. DIGITAL IDENTITY ONBOARDING/SIGNATURE.....	27
5.1. Digital trust and cybersecurity.....	27
Introducción.....	27
5.1.1. Impacto en los negocios	27
5.1.2. Enfoque técnico.....	28
5.1.2.1. Tecnologías clave	28
5.1.2.2. Arquitectura de integración	28
5.1.3. Casos de uso por mercado	28
5.1.4. Consideraciones de mercado	28
5.1.5. Empresas y startups de referencia	29
5.1.6. Estadísticas recientes.....	29
5.1.7. Referencias	29

5.2. Desinformation security	30
Introducción.....	30
5.2.1. Impacto en los negocios.....	30
5.2.2. Enfoque técnico.....	31
5.2.2.1. Tecnologías clave	31
5.2.2.2. Arquitectura de integración	31
5.2.3. Casos de uso por mercado	31
5.2.4. Consideraciones de mercado.....	32
5.2.5. Empresas y startups de referencia	32
5.2.6. Estadísticas recientes.....	32
5.2.7. Referencias	32
5.3. Post-quantum cryptography	33
Introducción.....	33
5.3.1. Impacto en los negocios	33
5.3.2. Enfoque técnico.....	34
5.3.3. Casos de uso por mercado	34
5.3.4. Consideraciones de mercado.....	34
5.3.5. Empresas y startups de referencia	35
5.3.6. Estadísticas recientes.....	35
5.3.7. Referencias	35
6. ESG 360	36
6.1. Sustainable IT technology	36
Introducción.....	36
6.1.1. Impacto en los negocios	36
6.1.2. Enfoque técnico.....	37
6.1.2.1. Tecnologías clave	37
6.1.2.2. Arquitectura ESG integrada	37
6.1.3. Casos de uso por mercado	37
6.1.4. Consideraciones de mercado.....	37
6.1.5. Empresas y startups de referencia	38
6.1.6. Estadísticas recientes.....	38
6.1.7. Referencias	38
7. ITO TRANSFORMATION.....	39
7.1. Private cloud	39
Introducción.....	39
7.1.1. Impacto en los negocios.....	39
7.1.2. Enfoque técnico	40
7.1.3. Casos de uso por mercado	40
7.1.4. Consideraciones de mercado.....	40
7.1.5. Empresas y startups de referencia.....	41
7.1.6. Estadísticas recientes.....	41
7.1.7. Referencias.....	41

7.2. Hybrid computing.....	42
Introducción.....	42
7.2.1. Impacto en los negocios.....	42
7.2.2. Enfoque técnico	43
7.2.2.1. Componentes clave	43
7.2.2.2. Arquitectura de referencia	43
7.2.3. Casos de uso por mercado	43
7.2.4. Consideraciones de mercado	43
7.2.5. Empresas y startups de referencia.....	44
7.2.6. Estadísticas recientes	44
7.2.7. Referencias	44
8. DIGITAL WORKPLACE.....	45
8.1. Augmented connected workforce.....	45
Introducción.....	45
8.1.1. Impacto en los negocios	45
8.1.2. Enfoque técnico.....	46
8.1.2.1. Tecnologías clave	46
8.1.2.2. Arquitectura de integración	46
8.1.3. Casos de uso por mercado.....	46
8.1.4. Consideraciones de mercado	46
8.1.5. Empresas y startups de referencia	47
8.1.6. Estadísticas recientes	47
8.1.7. Referencias	47

Introducción



En el vertiginoso y en constante cambio mundo de las Tecnologías de la Información (TI) en Colombia, mantenerse al tanto de las tendencias emergentes es esencial para que las organizaciones públicas y privadas aseguren su competitividad, resiliencia y eficiencia operativa. La aceleración digital en el país está siendo impulsada por la adopción de inteligencia artificial generativa, automatización inteligente, ciberseguridad avanzada, sostenibilidad tecnológica y conectividad 5G.

Este documento presenta un análisis exhaustivo de las principales tendencias tecnológicas que están moldeando el futuro del sector TI en Colombia a partir de 2024. El objetivo es identificar las áreas clave de innovación y desarrollo que permitirán a las organizaciones anticiparse a los cambios del mercado, mejorar

su propuesta de valor y contribuir a una transformación digital inclusiva, segura y sostenible.

El análisis se ha llevado a cabo mediante una combinación de investigación primaria y secundaria. Se han revisado informes de referencia de consultoras internacionales, así como estudios del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 y el Observatorio de Economía Digital de Colombia. Este trabajo se ha complementado con el análisis interno de nuestras unidades de negocio, que han identificado oportunidades concretas de innovación a corto y medio plazo, alineadas con las prioridades estratégicas del país y las actividades de mejora de la oferta prioritaria.

I. Principales tendencias identificadas

- **Computación Cuántica en Expansión Temprana:** Aunque aún en fase exploratoria, la computación cuántica está ganando terreno en Colombia, especialmente en sectores como la banca, la salud y la logística. Se están consolidando alianzas entre universidades, centros de investigación y entidades gubernamentales para explorar su aplicación en criptografía post-cuántica, simulación de materiales complejos y optimización de procesos industriales. Esta tecnología será clave para resolver problemas que superan las capacidades de la computación clásica en la próxima década..
- **Evolución de la Inteligencia Artificial (IA):** La IA continúa su rápida evolución en Colombia, con un crecimiento sostenido en su adopción por parte de empresas y entidades públicas. Se destacan avances en IA generativa, modelos energéticamente eficientes y soluciones hiperpersonalizadas. La combinación de IA con analítica avanzada está transformando sectores como la salud, la educación, la manufactura y los servicios financieros. La IA se está convirtiendo en parte estructural de las operaciones empresariales, comparable a la electricidad o la conectividad digital.
- **Ciberseguridad Inteligente y Confianza Digital:** La creciente digitalización ha elevado la prioridad de la ciberseguridad en Colombia. Las organizaciones están adoptando arquitecturas de confianza cero, IA para detección proactiva de amenazas y estrategias de ciberresiliencia en sus cadenas de suministro. Aunque persisten desafíos en infraestructura y talento especializado, también existen oportunidades para fortalecer la soberanía digital del país, en línea con las políticas del Ministerio TIC y la Estrategia Nacional de Ciberseguridad.
- **Conectividad Avanzada y 5G:** La expansión de las redes 5G y la digitalización de infraestructuras están habilitando el desarrollo de ciudades inteligentes, automatización industrial y servicios públicos más eficientes. Esta conectividad también potencia la interacción entre dispositivos autónomos, facilitando el crecimiento de los clientes máquina y los sistemas autónomos de decisión.



II. Grado de adopción y madurez

En función de la información disponible en fuentes públicas y los resultados analizados en el informe se ha realizado un primer análisis del grado de madurez y adopción de estas tendencias en la geografía.

Se ofrece la comparativa del grado de madurez con otras geografías analizadas (España, Portugal, Italia, México, Colombia & Centro América & Caribe, Perú & Cono Sur, Brasil) y una comparativa con líderes en innovación (USA, China, EU).

• Grado de adopción

El grado de adopción tecnológica es una medida que indica cuán ampliamente y profundamente se están implementando y utilizando tecnologías específicas en un país, sector o industria. Este grado se suele expresar en una escala del 1 al 5, donde:

1 = Adopción muy baja o incipiente

2 = Adopción limitada o en fase piloto

3 = Adopción moderada o en expansión

4 = Adopción avanzada o consolidada

5 = Adopción plena o altamente integrada

¿Qué factores influyen en el grado de adopción?

Infraestructura tecnológica: Disponibilidad de redes, centros de datos, conectividad, etc.

Capacidades humanas: Formación, talento digital, cultura de innovación.

Inversión pública y privada: Fondos destinados a I+D, transformación digital, etc.

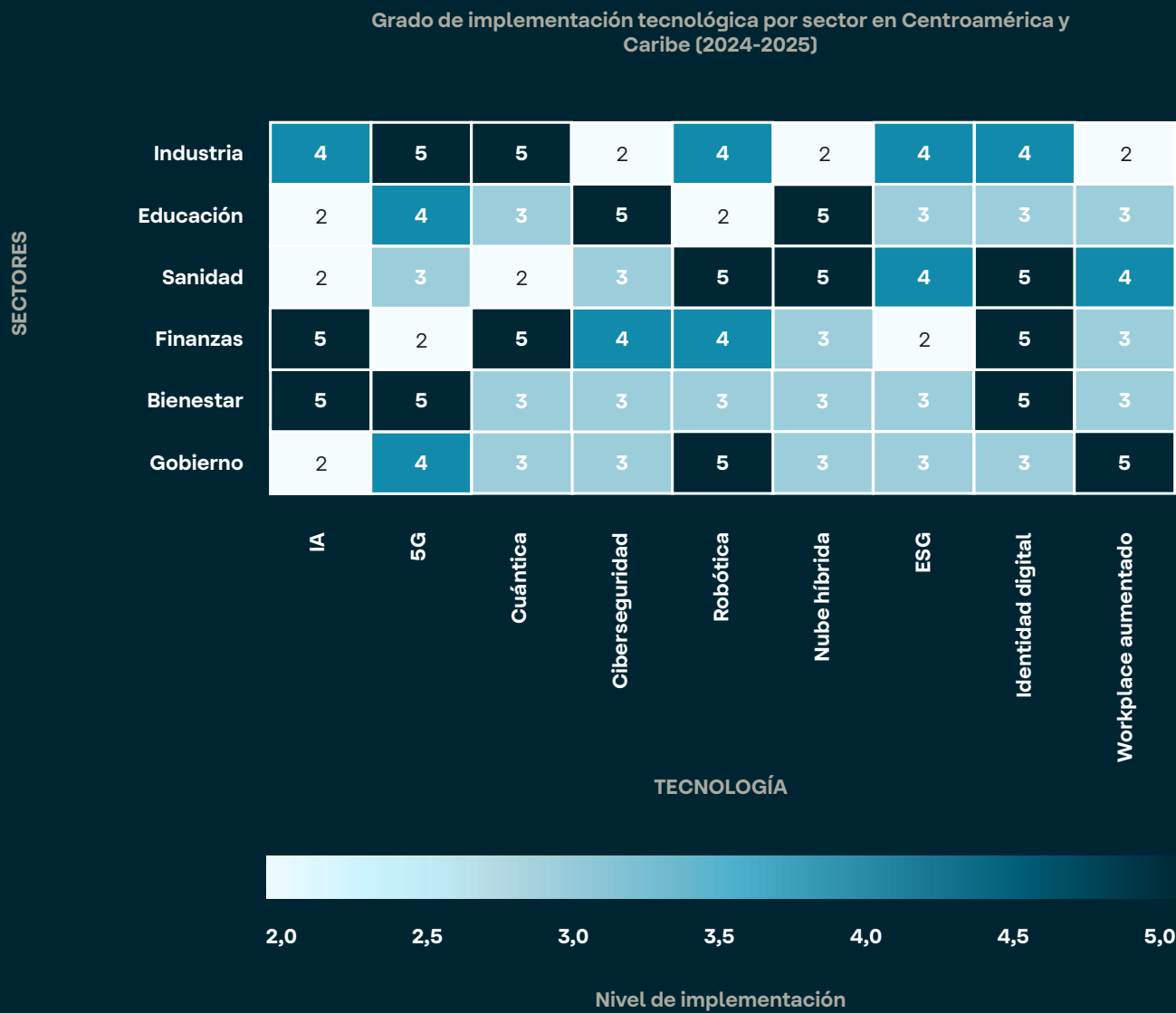
Regulación y políticas: Marcos legales que favorecen o limitan la adopción.

Demanda del mercado: Necesidades de los consumidores o usuarios finales.

Madurez del ecosistema: Presencia de startups, universidades, centros de innovación.

» Grado de adopción tecnología y sector

Aquí tienes el gráfico de calor que muestra el detalle de implementación tecnológica por sector para Colombia, Centro América y Caribe.



Cómo interpretarlo:

- **Eje vertical:** Sectores (industria, educación, sanidad, etc.).
- **Eje horizontal:** Tecnologías (IA, 5G, Cuántica, etc.).
- **Colores:** Representan el nivel de implementación [de 1 a 5], donde los tonos más oscuros indican mayor adopción.

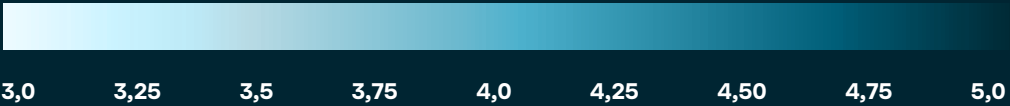
» Comparativa de adopción por sector [global tecnologías]

Se adjunta **gráfico de calor (heatmap)** con:

- **Eje horizontal:** Sectores (industria, educación, sanidad, finanzas, salud, gobierno).
- **Eje vertical:** Países y regiones.
- **Colores:** Representan el nivel de adopción tecnológica promedio (2024-2025) en una escala de 1 a 5.

Grado de adopción tecnológica por país y sector (2024-2025)

PAÍSES	Colombia	3,2	3,5	3	3,4	3,1	3,3
	España	4	4,2	4,1	4,3	4	4,1
	México	3,8	3,9	3,7	3,9	3,6	3,8
	Portugal	3,5	3,7	3,6	3,8	3,5	3,6
	Brasil	3,6	3,8	3,5	3,7	3,4	3,6
	Italia	4,1	4,3	4	4,2	4	4,1
	Perú y Cono Sur	3,4	3,6	3,3	3,5	3,2	3,4
	China	4,8	4,9	4,7	4,8	4,6	4,7
	EE.UU.	5	5	4,9	5	4,8	4,9
	UE	4,5	4,6	4,4	4,6	4,3	4,5
		Industria	Educación	Sanidad	Finanzas	Salud	Gobierno
SECTORES							



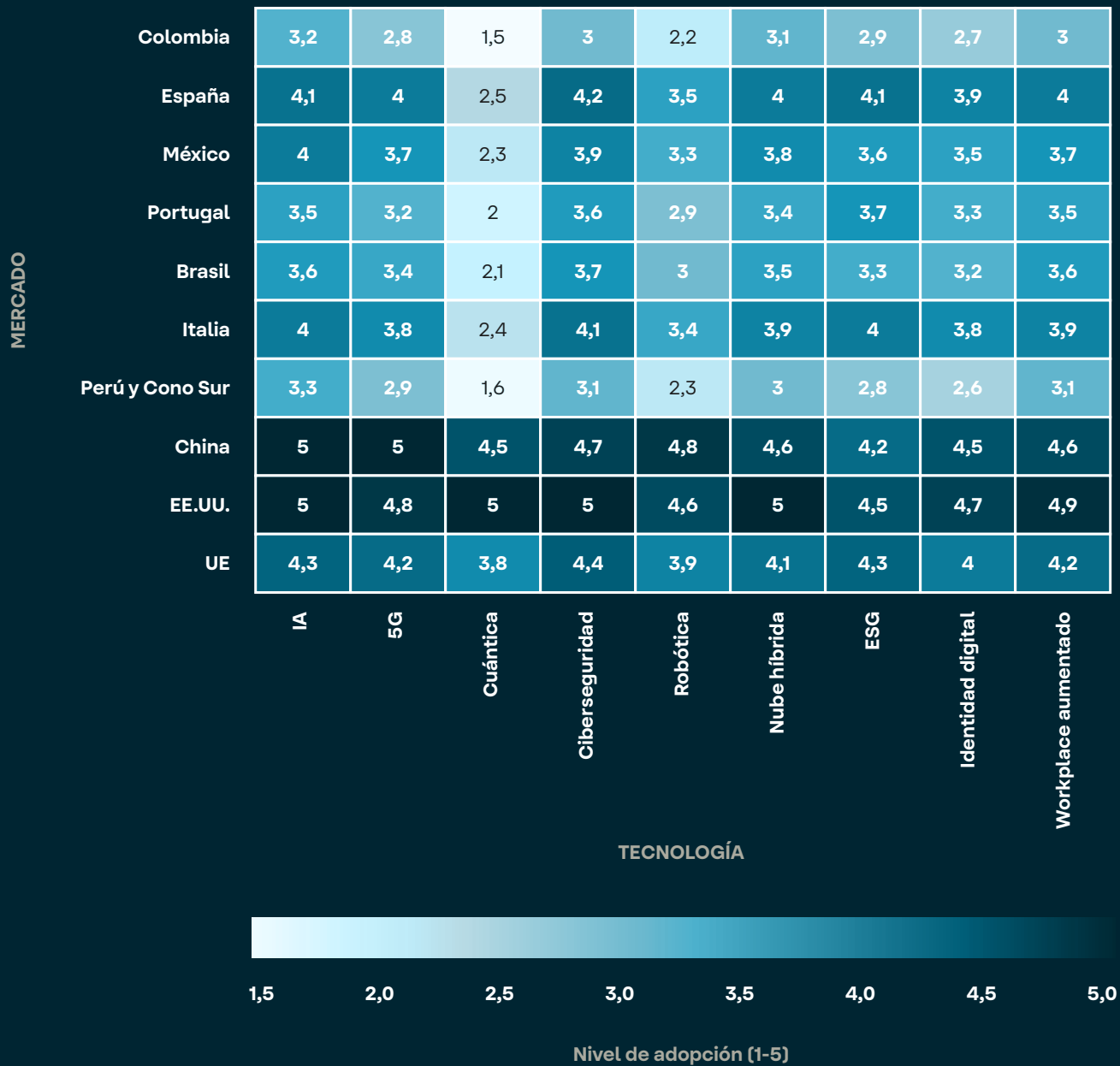
Nivel de adopción (1-5)

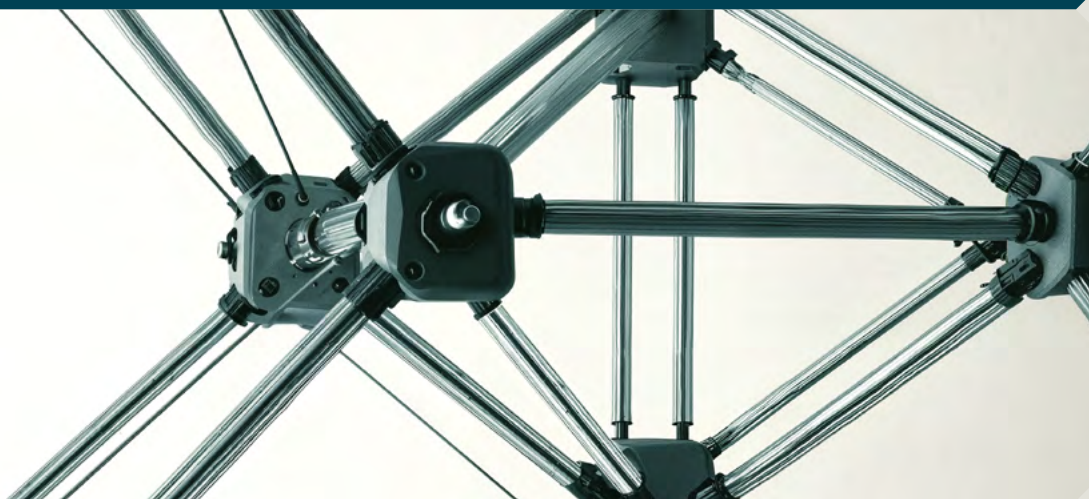
» Comparativa de adopción por tecnología [global mercados]

Se adjunta **gráfico de calor (heatmap)** con:

- **Eje horizontal:** Tecnologías.
- **Eje vertical:** Países y regiones.
- **Colores:** Representan el nivel de adopción tecnológica promedio [2024-2025] en una escala de 1 a 5.

Grado de adopción tecnológica promedio (2024-2025) por mercado y tecnología





1.1. | Machine customer

Cientes Máquinas: Emergencia de Sistemas Autónomos y Algoritmos como Actores Económicos en Transacciones B2B.

Los **clientes máquina** son algoritmos, agentes de inteligencia artificial o dispositivos conectados capaces de **tomar decisiones de compra, negociar contratos y ejecutar transacciones** sin intervención humana. Según Gartner, para 2030, los clientes máquina representarán el 20% del gasto total en bienes y servicios ¹.

En América Latina, y particularmente en Colombia, Centroamérica y el Caribe, esta tendencia está emergiendo en sectores como energía, banca, retail y telecomunicaciones, impulsada por la automatización, la inteligencia artificial y la necesidad de eficiencia operativa en entornos digitales cada vez más complejos ^{2 3}.

1.1.1. Impacto en los negocios

Sector	Impacto Empresarial Clave
Administración Pública	Automatización de compras gubernamentales, licitaciones inteligentes, gestión de contratos por IA.
Energía y Servicios Públicos	Optimización de compras de insumos energéticos, mantenimiento predictivo con compras automatizadas.
Finanzas y Seguros	Robo-advisors que ejecutan inversiones y seguros automáticamente.
Industria y Retail	Reposición automática de inventarios, negociación de precios por IA, compras predictivas.
Telecomunicaciones y Medios	Contratación automática de servicios de red, gestión de proveedores por algoritmos.
Salud	Compra autónoma de insumos médicos, gestión de stock hospitalario, contratación de servicios clínicos.

1.1.2. Enfoque técnico

- Componentes Tecnológicos:

1.1.2.1. Tecnologías clave

- IA y Aprendizaje Automático:** Para toma de decisiones autónoma.
- IoT y Edge Computing:** Sensores que detectan necesidades y ejecutan acciones.
- Blockchain y Smart Contracts:** Para transacciones seguras y verificables.
- Identidad Digital Descentralizada (DID):** Para autenticar máquinas como entidades legales.
- Plataformas API-first:** Para integración con marketplaces y ERPs.

1.1.2.2. Arquitectura

- Clientes Vinculados:** Ejecutan acciones preprogramadas (ej. reabastecimiento automático).
- Clientes Adaptativos:** Aprenden y optimizan decisiones con IA.
- Clientes Autónomos:** Actúan con independencia dentro de límites definidos.

1.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Aplicación de Machine Customers
Público	MinTIC (Colombia) [en exploración]	Sistema autónomo de compras públicas para licitaciones menores
Energía	Celsia	Agente IA para adquisición de repuestos y mantenimiento predictivo
Finanzas	Bancolombia	Robo-advisors que ejecutan inversiones y seguros personalizados
Industria y Retail	Grupo Éxito	Reposición automática de productos en góndola mediante algoritmos de demanda
Telecomunicaciones	Tigo	Contratación automática de servicios de red y mantenimiento
Salud	Fundación Santa Fe de Bogotá	Sistema autónomo de compras de insumos médicos y gestión de stock

1.1.4. Consideraciones de mercado

Administración Pública: Requiere marcos regulatorios y auditoría de decisiones automatizadas.

Energía: Necesita certificación de seguridad y compatibilidad con sistemas SCADA.

Finanzas: Debe cumplir con normativas locales y estándares internacionales.

Retail: Requiere integración con ERPs y plataformas de logística.

Telecomunicaciones: Necesita baja latencia y redes 5G distribuidas.

Sanidad: Debe cumplir con normativas de dispositivos médicos y protección de datos.

1.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Latinoamericanas:

NEXSYS (automatización empresarial), Auronix (bots conversacionales), Roomie IT (robots de servicio), Globant Latam (transformación digital).

Rappi: Uso de algoritmos para decisiones logísticas.

Kavak: Algoritmos de pricing dinámico.

Ubidots (Medellín): IoT para decisiones autónomas en industria.

Aiva Technologies: IA conversacional para decisiones de compra.

1.1.6. Estadísticas recientes

Gartner estima que para 2030, más de 15 mil millones de dispositivos actuarán como clientes máquina ¹.

McKinsey reporta que el 35% de las empresas B2B ya están explorando modelos de autoservicio digital con IA ³.

EY destaca que la inteligencia artificial es la tecnología con mayor intención de inversión en Latinoamérica para 2025 ²

1.1.7. Referencias

EY, Gartner, Forrester, IDC, McKinsey, BCG, Globant – informes y casos de estudio 2024-2025.

Nexsys Colombia – soluciones IoT y automatización en energía.

Modernización de Aplicaciones

02



2.1. | Polyfunctional robots

Robots polifuncionales: robots capaces de realizar múltiples tareas.

Los robots polifuncionales representan una evolución significativa en la automatización industrial y de servicios. A diferencia de los robots tradicionales diseñados para tareas únicas, estos sistemas son capaces de ejecutar múltiples funciones, adaptarse a nuevos entornos y aprender nuevas tareas sin necesidad de reprogramación. Según Gartner, esta tecnología es una de las principales tendencias estratégicas para 2025, con un impacto directo en la productividad, la eficiencia operativa y la colaboración humano-máquina 4.

En América Latina, y particularmente en Colombia, Centroamérica y el Caribe, la escasez de mano de obra calificada, la presión por reducir costos y la necesidad de resiliencia operativa están impulsando la adopción de estos robots en sectores como manufactura, salud, energía y servicios públicos.

2.1.1. Impacto en los negocios

Sector	Impacto de Robots Polifuncionales
Administración Pública	Automatización de tareas urbanas (limpieza, vigilancia, logística), atención ciudadana robotizada.
Energía y Utilities	Inspección de infraestructuras, mantenimiento autónomo, gestión de emergencias.
Finanzas y Seguros	Automatización de procesos documentales, atención en sucursales y análisis de datos.
Industria y Retail	Robots de picking, empaquetado, control de calidad, asistencia logística.
Telecomunicaciones y Medios	Mantenimiento de redes, instalación de equipos, soporte técnico automatizado.
Salud	Asistencia quirúrgica, entrega de medicamentos, limpieza hospitalaria, interacción con pacientes.

2.1.2. Enfoque técnico

2.1.2.1. Tecnologías clave

- **IA y Aprendizaje Automático:** Para adaptarse a nuevas tareas y entornos.
- **Diseño Modular:** Permite cambiar herramientas o funciones según la necesidad.
- **Sensores Multimodales:** Visión artificial, sensores hápticos y térmicos.
- **5G y Edge Computing:** Comunicación en tiempo real y procesamiento local.
- **Interfaces Naturales:** Control por voz, gestos y lenguaje natural.

2.1.2.2. Arquitectura

- **Gemelos Digitales:** Simulación de tareas y entornos antes de la ejecución real.
- **Integración Cloud-Robot:** Aprendizaje centralizado y ejecución distribuida.
- **Ciberseguridad Robótica:** Protección frente a accesos no autorizados y manipulación de datos.

2.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Aplicación de Robots Polifuncionales
Público	Alcaldía de Medellín	Robots de limpieza urbana y entrega de documentos en edificios públicos
Energía	ISA Intercolombia	Robots móviles para inspección de subestaciones y líneas de transmisión
Finanzas	Banco Nacional de Costa Rica	Robots de atención en oficinas y procesamiento documental
Industria y Retail	Grupo Nutresa	Robots colaborativos (cobots) para empaquetado y control de calidad
Telecomunicaciones	Claro	Robots para instalación de equipos en centros de datos y mantenimiento de racks
Salud	Clínica del Country	Robots de asistencia quirúrgica y logística hospitalaria autónoma

2.1.4. Consideraciones de mercado

Administración Pública: Requiere normativa sobre interacción con ciudadanos y protección de datos.

Energía: Necesita certificación para operar en entornos críticos y compatibilidad con SCADA.

Finanzas: Cumplimiento normativo y protección de datos sensibles.

Industria: Integración con sistemas ERP y logística existente.

Telecomunicaciones: Infraestructura 5G y baja latencia.

Sanidad: Validación clínica, interoperabilidad y ética médica.

2.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



PAL Robotics (España): Robots humanoides para salud y retail.

Robotec (Colombia): Desarrollo de soluciones robóticas industriales.

Kiwibot (Colombia): Robots de entrega autónoma.

Globant: Integración de IA y robótica en soluciones urbanas.

2.1.6. Estadísticas recientes

Gartner estima que para 2027, el 30% de las operaciones de primera línea estarán apoyadas por robots polifuncionales ⁴.

En América Latina, el 45% de las empresas manufactureras planean invertir en automatización robótica avanzada antes de 2026 ⁵.

Forrester destaca que los robots polifuncionales ofrecen un ROI más rápido que los monofuncionales, al ampliar su utilidad y adaptabilidad ⁶.

2.1.7. Referencias

Gartner España: “Los robots polifuncionales se sumarán pronto a tu equipo” — Un análisis detallado sobre cómo estos robots están transformando la productividad humano-máquina, su capacidad de aprendizaje sin reprogramación y su impacto en el ROI empresarial.”

Gartner Global: “Get Ready for Polyfunctional Robots to Join Your Workforce” — Explica cómo los robots polifuncionales se están convirtiendo en una de las principales tendencias tecnológicas estratégicas para 2025, destacando su versatilidad, colaboración humano-máquina y adaptabilidad a múltiples tareas.

Diario del Sur: “Robots Polifuncionales: La Revolución de la Automatización Versátil” — Describe cómo estos robots utilizan sensores avanzados, IA y aprendizaje automático para adaptarse a diferentes entornos y tareas, con ejemplos aplicados a América Latina.

Data Modernization

03



3.1. | Quantum technologies

Tecnologías cuánticas: conciencia creciente de su potencial en IA, simulación de escenarios empresariales y avances científicos, aun con un despliegue completo a años de distancia.

Las **tecnologías cuánticas** están emergiendo como una disrupción clave en la próxima década. Aunque su despliegue comercial aún está en fase temprana, su potencial en **criptografía post-cuántica, simulación molecular, optimización logística y comunicaciones seguras** está generando creciente interés en América Latina. En 2025, la UNESCO declaró el **Año Internacional de la Ciencia y las Tecnologías Cuánticas**, reconociendo su impacto en sectores como salud, telecomunicaciones y seguridad de la información ⁷.

En Colombia, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación ha lanzado convocatorias estratégicas para impulsar la investigación aplicada en tecnologías cuánticas, con énfasis en su integración con inteligencia artificial y su aplicación en sectores productivos y sociales ^{8 9}.

3.1.1. Impacto en los negocios

Administración Pública	Seguridad cuántica en comunicaciones gubernamentales, simulación de políticas públicas, criptografía resistente a ataques cuánticos.
Energía y Servicios Públicos	Optimización de redes eléctricas, simulación de materiales para baterías, detección cuántica para monitoreo ambiental.
Finanzas y Seguros	Criptografía post-cuántica, modelado de riesgos y detección de fraudes
Industria y Retail	Optimización logística, diseño de nuevos materiales, algoritmos cuánticos para predicción de demanda.
Telecomunicaciones y Medios	Comunicación cuántica segura, redes resistentes a ciberataques, distribución de claves cuánticas.
Salud	Simulación molecular para desarrollo de fármacos, detección cuántica para diagnóstico, análisis genómico avanzado.

3.1.2. Enfoque técnico

La adopción de tecnologías cuánticas requiere el desarrollo y la integración de varios elementos clave:

- **Computadoras Cuánticas:** Sistemas como los desarrollados por IBM [Quantum System One] y Google [Sycamore] que emplean qubits para realizar cálculos exponencialmente más rápidos que las computadoras clásicas.
- **Algoritmos Cuánticos:** Diseño de algoritmos específicos como el algoritmo de Grover y Shor para optimización y criptoanálisis.
- **Simuladores Cuánticos:** Herramientas como QuTiP que permiten a las empresas experimentar con algoritmos cuánticos sin la necesidad de hardware dedicado.
- **Criptografía Post-Cuántica:** Soluciones que preparan a las organizaciones para proteger datos en un mundo con capacidades cuánticas avanzadas.
- **Infraestructura Híbrida:** Integración de computación cuántica con sistemas clásicos para maximizar el rendimiento.
- **Entornos de Desarrollo Cuántico:** Plataformas como IBM Qiskit y Google Cirq que permiten a los desarrolladores trabajar en algoritmos y soluciones cuánticas.

3.1.2.1. Tecnologías clave

- **Computación Cuántica:** Basada en qubits, permite resolver problemas intratables para la computación clásica.
- **Criptografía Post-Cuántica (PQC):** Algoritmos resistentes a ataques cuánticos (Kyber, Dilithium, SPHINCS+).
- **Distribución Cuántica de Claves (QKD):** Comunicación segura basada en principios de la mecánica cuántica.
- **Sensores Cuánticos:** Medición ultra precisa de variables físicas (gravedad, campos magnéticos, etc.).

3.1.2.2. Arquitectura de integración

- **Cloud Cuántico:** Acceso remoto a procesadores cuánticos (IBM Q, Amazon Braket).
- **HPC + Cuántica:** Integración de supercomputación clásica con aceleradores cuánticos.
- **Gemelos Digitales Cuánticos:** Simulación de procesos industriales o biológicos con precisión cuántica.

3.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Aplicación Cuántica
Público	MinTIC (Colombia)	Exploración de criptografía cuántica para comunicaciones gubernamentales seguras
Energía	Grupo Energía Bogotá	Simulación de materiales para baterías de almacenamiento energético
Finanzas	Bancolombia	Evaluación de algoritmos PQC para cifrado de datos bancarios y firma electrónica avanzada
Industria y Retail	Alpina	Optimización logística con algoritmos cuánticos simulados
Telecomunicaciones	Claro	Pruebas de distribución de claves cuánticas [QKD] en redes ópticas
Salud	Fundación Santa Fe de Bogotá (en exploración)	Simulación molecular para investigación en oncología

Universidad de los Andes colabora con IBM para acceso a simulaciones cuánticas en investigación científica [2024].

3.1.4. Consideraciones de mercado

- Administración Pública:** Requiere normativa sobre soberanía digital y estándares de interoperabilidad.
- Energía:** Necesita integración con sistemas SCADA y validación de modelos predictivos.
- Finanzas:** Debe alinearse con regulaciones locales y estándares internacionales.
- Industria:** Demanda acceso a plataformas cuánticas y formación especializada.
- Telecomunicaciones:** Requiere inversión en infraestructura óptica y nodos QKD.
- Sanidad:** Necesita validación clínica y cumplimiento de normativas de protección de datos.

3.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Latinoamericanas

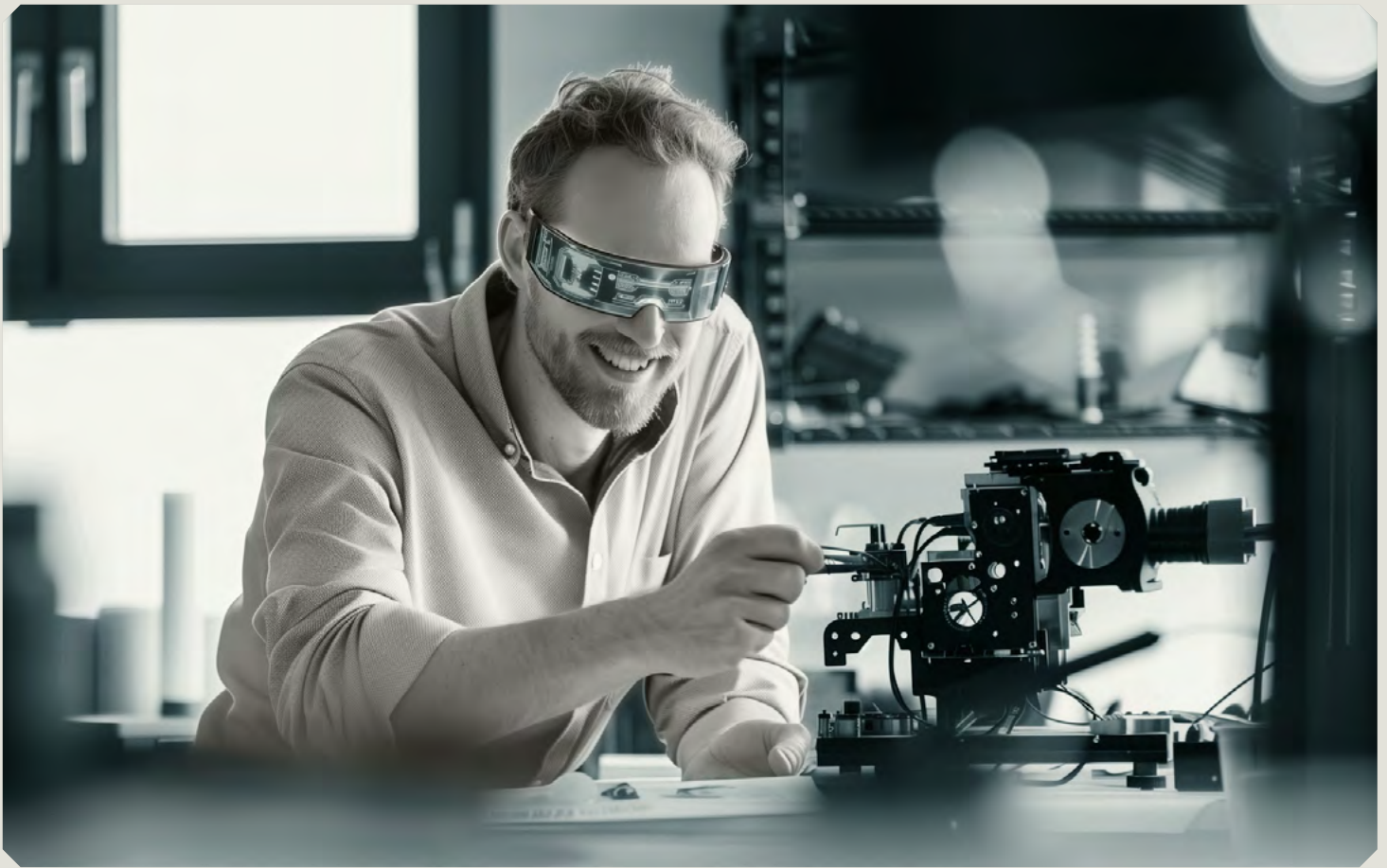
- NEXSYS (distribución tecnológica), Globant Latam (transformación digital), CEDIA (Ecuador), CEDIA Quantum Lab (Colombia)
- Qiskit LATAM:** Comunidad de desarrolladores cuánticos en América Latina.
 - Rigetti Computing:** Hardware cuántico accesible para investigación.
 - Quantica Tech (Colombia):** Startup enfocada en algoritmos cuánticos para logística.
 - Globant:** Exploración de soluciones cuánticas híbridas para clientes corporativos.

3.1.6. Estadísticas recientes

- Gartner estima que para 2030, el 50% de las organizaciones incluirán PQC en sus estrategias de ciberseguridad ¹⁰.
- Colombia lanzó en 2024 la convocatoria “Colombia Inteligente” para financiar proyectos en tecnologías cuánticas e IA ⁸.
- La UNESCO declaró 2025 como el Año Internacional de la Ciencia y las Tecnologías Cuánticas, impulsando la inversión y colaboración científica global ⁷.

3.1.7. Referencias

- Gartner, “Quantum Computing Trends,” 2024.
- McKinsey & Company, “Unlocking the Potential of Quantum Technologies,” 2023.
- Forrester, “Quantum Disruption in Business,” 2024.
- IBM Research, “The Future of Quantum Computing,” 2023.



3.2. | Spacial computing

Computación espacial: la fusión de los mundos físico y digital mediante realidad aumentada y virtual.

La **computación espacial** es una tecnología que fusiona el mundo físico y el digital mediante el uso de **realidad aumentada (RA), realidad mixta (RM), sensores, inteligencia artificial (IA), edge computing y visión por computadora**. Esta convergencia permite crear experiencias inmersivas, interactivas y contextuales que mejoran la toma de decisiones, la productividad y la comprensión del comportamiento humano ¹¹.

Según Gartner, para 2028, el 20% de las personas experimentará semanalmente contenido inmersivo basado en ubicación y contexto, frente a menos del 1% en 2023 ¹¹.

3.2.1. Impacto en los negocios

Administración Pública	Simulación urbana, capacitación inmersiva para funcionarios, atención ciudadana aumentada.
Energía y Utilities	Visualización de infraestructuras, mantenimiento asistido por AR, monitoreo remoto.
Finanzas y Seguros	Simulaciones financieras inmersivas, análisis emocional del cliente y asesoramiento virtual
Industria y Retail	Experiencias inmersivas en tienda, diseño de productos en 3D, entrenamiento de operarios.
Telecomunicaciones y Medios	Interfaces inmersivas para atención al cliente, visualización de redes, producción de contenido 3D.
Salud	Cirugías asistidas por AR, entrenamiento médico, visualización de datos clínicos en 3D.

3.2.2. Enfoque técnico

3.2.2.1. Tecnologías clave

- **Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR):** Interacción inmersiva con datos y entornos simulados.
- **Sensores Espaciales:** Cámaras 3D, LIDAR, sensores de movimiento y biométricos.
- **IA Cognitiva:** Interpretación de gestos, voz, mirada y emociones.
- **Edge Computing:** Procesamiento local para baja latencia y respuesta en tiempo real.
- **Interfaces Naturales:** Control por voz, gestos y seguimiento ocular.

3.2.2.2. Arquitectura de integración

- Plataformas como **Microsoft HoloLens, Apple Vision Pro, Unity, Meta Quest**
- Integración con sistemas empresariales (ERP, CRM, LMS)
- Gemelos digitales para simulación de entornos físicos y procesos

3.2.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Aplicación de Computación Espacial
Público	Alcaldía de Bogotá	Simulación de movilidad urbana con RA para planificación participativa
Energía	Celsia	Gemelos digitales para monitoreo de subestaciones y entrenamiento inmersivo
Finanzas	Bancolombia	Simulaciones financieras inmersivas y asesoramiento virtual con IA conversacional
Industria y Retail	Grupo Éxito	Análisis de flujo de clientes y diseño de layout con RA
Telecomunicaciones	Tigo	Visualización de redes de fibra óptica y soporte técnico con RA
Salud	Clínica del Country	Diagnóstico asistido por IA espacial y entrenamiento quirúrgico en RV

3.2.4. Consideraciones de mercado

- Administración Pública:** Requiere interoperabilidad, accesibilidad y formación digital.
- Energía:** Necesita dispositivos robustos y conectividad en campo.
- Industria:** Debe integrarse con sistemas de producción y logística.
- Finanzas:** Cumplimiento normativo y protección de datos emocionales.
- Telecomunicaciones:** Infraestructura 5G y edge computing.
- Sanidad:** Validación clínica y cumplimiento de normativas sanitarias.

3.2.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Magic Leap: Dispositivos de realidad mixta para entornos industriales.

Varjo: Realidad extendida de alta precisión para salud y defensa.

ViewAR: Soluciones de AR para retail y logística.

Globant: Desarrollo de plataformas inmersivas para ciudades inteligentes.

Kavak: Uso de Spatial Computing para visualización de vehículos en 3D.

3.2.6. Estadísticas recientes

Gartner estima que para 2028, el 20% de las personas tendrá una experiencia inmersiva semanal con contenido contextual ¹¹.

EY destaca que la adopción de tecnologías inmersivas en Colombia está alineada con la transformación digital y la sostenibilidad empresarial ¹².

IDC prevé que el mercado latinoamericano de tecnologías inmersivas crecerá a una tasa compuesta anual del 34% hasta 2027.

3.2.7. Referencias

Gartner. (2023). "Emerging Technologies Analysis: Spatial Computing."

IDC. (2023). "Market Forecast: AR and VR Adoption Trends."

Deloitte. (2023). "Digital Transformation in Manufacturing."

Statista. (2023). "Augmented Reality and Virtual Reality Market Insights."



4.1. | Neurological enhancements

Mejoras neurológicas: tecnologías para potenciar las funciones cognitivas y la comprensión del pensamiento del consumidor.

La convergencia entre realidad aumentada [AR], realidad virtual [VR], inteligencia artificial (IA) y neurociencia aplicada está transformando la forma en que las organizaciones abordan la productividad, la salud mental, la formación y la experiencia del cliente. Estas tecnologías permiten potenciar funciones cognitivas, mejorar la toma de decisiones y personalizar la interacción humano-máquina ^{14 15}.

En América Latina, especialmente en Colombia, Centroamérica y el Caribe, estas soluciones están siendo adoptadas en sectores como salud, educación, industria y servicios financieros, con aplicaciones que van desde la rehabilitación cognitiva hasta la formación inmersiva y el análisis emocional del consumidor.

4.1.1. Impacto en los negocios

Administración Pública	Capacitación inmersiva, simulación de políticas públicas, atención ciudadana aumentada.
Energía y Utilities	Visualización de infraestructuras, entrenamiento cognitivo para técnicos, mantenimiento asistido por AR.
Finanzas y Seguros	Simulaciones financieras inmersivas, asesoramiento emocional y análisis de intención del cliente.
Industria y Retail	Experiencias inmersivas de compra, entrenamiento de operarios, análisis emocional del consumidor.
Telecomunicaciones y Medios	Producción de contenido inmersivo, interfaces cognitivas para atención al cliente, análisis de emociones.
Salud	Cirugías asistidas por AR, neurorehabilitación, simulación médica, reducción de ansiedad preoperatoria.

4.1.2. Enfoque técnico

4.1.2.1. Tecnologías clave

- **Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR):** Interacción inmersiva con entornos digitales.
- **Interfaces Cerebro-Máquina (BMI):** Lectura y escritura bidireccional de señales cerebrales 13.
- **IA Cognitiva:** Interpretación de emociones, atención y patrones de pensamiento.
- **Neurofeedback:** Adaptación de contenidos según la actividad cerebral.
- **Edge Computing:** Procesamiento en tiempo real para experiencias inmersivas sin latencia.

4.1.2.2. Arquitectura de integración

- Dispositivos: Gafas AR/VR, sensores EEG, guantes hápticos.
- Plataformas: Unity, Unreal Engine, Microsoft Mesh, Apple Vision Pro.
- Integración con sistemas empresariales (ERP, CRM, LMS) y motores de IA.

4.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Aplicación RA/RV
Público	Alcaldía de Medellín	Simulación urbana 3D para planificación participativa
Energía	Interconexión Eléctrica S.A. (ISA)	Entrenamiento en mantenimiento de subestaciones con RV
Finanzas	Bancolombia	Simulaciones financieras inmersivas y asesoramiento emocional con IA
Industria y Retail	Grupo Nutresa	Simulación de líneas de producción y diseño de empaques en RA
Telecomunicaciones	Claro Colombia	Formación técnica en RV para instaladores de fibra óptica
Salud	Fundación Valle del Lili	Cirugías asistidas por RA y entrenamiento clínico en entornos virtuales

4.1.4. Consideraciones de mercado

Administración Pública: Requiere accesibilidad, ética digital y formación.

Energía: Necesita dispositivos robustos y conectividad en campo.

Finanzas: Cumplimiento normativo y protección de datos emocionales.

Industria: Integración con sistemas de producción y logística.

Telecomunicaciones: Infraestructura 5G y edge computing.

Sanidad: Validación clínica, interoperabilidad y cumplimiento de normativas de protección de datos.

4.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Neurable: Interfaces neuronales no invasivas para AR/VR.

Biofile (Colombia): Soluciones de AR para salud y gestión clínica.

Naddie (Colombia): Realidad aumentada y virtual para educación, arquitectura y salud.

Globant: Desarrollo de plataformas inmersivas cognitivas.

Varjo: Realidad extendida de alta precisión para neuroentrenamiento.

4.1.6. Estadísticas recientes

Gartner estima que para 2034, el 30% de los trabajadores del conocimiento utilizarán tecnologías de mejora neurológica para mantener su competitividad ¹⁴.

Estudios clínicos en América Latina han demostrado que la VR mejora la adherencia terapéutica en rehabilitación neurológica en un 40% ¹⁵.

IDC prevé que el mercado latinoamericano de tecnologías inmersivas crecerá a una tasa compuesta anual del 34% hasta 2027.

4.1.7. Referencias

Gartner. (2023). "Emerging Technologies Analysis: Cognitive and Neurological Enhancements."

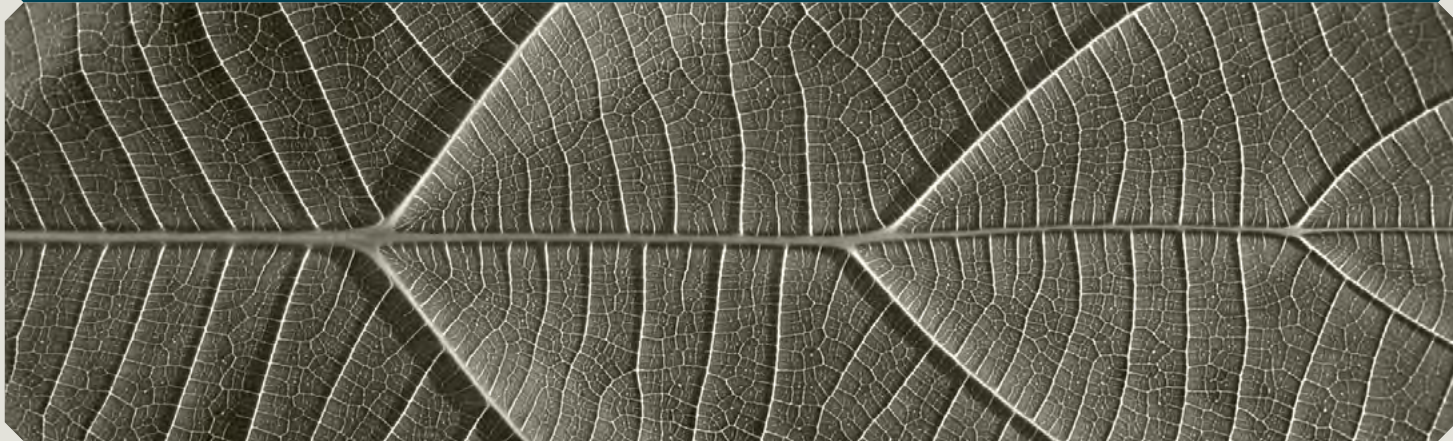
Deloitte. (2023). "Trends in Neurotechnology Adoption."

Fortune Business Insights. (2023). "Neurological Enhancements Market Overview."

Statista. (2023). "Cognitive Technology Market Insights."

Digital Identity Onboarding/Signature

D5



5.1. | Digital trust and cybersecurity

Confianza digital y ciberseguridad. Integración de tecnologías Web3 y arquitecturas de confianza para mejorar la seguridad digital y reducir los riesgos de ciberataques.

La transformación digital en América Latina ha acelerado la necesidad de **infraestructuras seguras, interoperables y confiables**. En un entorno marcado por el aumento de ciberataques, la desinformación y la fragmentación de identidades digitales, tecnologías como **Web3, blockchain, identidad descentralizada (DID) y arquitecturas Zero Trust** están emergiendo como pilares para construir un ecosistema de confianza digital. Según EY, las organizaciones deben adoptar una visión estratégica para invertir eficazmente en la gestión de amenazas digitales, protegiendo datos críticos y manteniendo la confianza del cliente ¹⁶. La CEPAL también destaca que la región enfrenta desafíos estructurales en ciberseguridad, pero tiene oportunidades para avanzar mediante marcos normativos sólidos y cooperación regional ¹⁷.

5.1.1. Impacto en los negocios

Administración Pública	Capacitación inmersiva, simulación de políticas públicas, atención ciudadana aumentada.
Energía y Utilities	Visualización de infraestructuras, entrenamiento cognitivo para técnicos, mantenimiento asistido por AR.
Finanzas y Seguros	Simulaciones financieras inmersivas, asesoramiento emocional y análisis de intención del cliente.
Industria y Retail	Experiencias inmersivas de compra, entrenamiento de operarios, análisis emocional del consumidor.
Telecomunicaciones y Medios	Producción de contenido inmersivo, interfaces cognitivas para atención al cliente, análisis de emociones.
Salud	Cirugías asistidas por AR, neurorrehabilitación, simulación médica, reducción de ansiedad preoperatoria.

5.1.2. Enfoque técnico

La implementación de arquitecturas de confianza basadas en Web3 incluye los siguientes elementos:

5.1.2.1. Tecnologías clave

- **Blockchain:** Registro inmutable de transacciones y eventos.
- **Identidad Descentralizada (DID):** Autenticación sin intermediarios, con control del usuario.
- **Contratos Inteligentes:** Automatización de reglas de seguridad y cumplimiento.
- **Zero Trust Architecture:** Verificación continua de identidad, dispositivo y contexto.
- **IA para Detección de Amenazas:** Análisis de comportamiento y detección de anomalías.

5.1.2.2. Arquitectura de integración

- Gateways Web3 para conectar sistemas tradicionales con redes descentralizadas.
- Plataformas de verificación de contenido y reputación digital.
- APIs federadas para interoperabilidad entre plataformas y servicios.

5.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Caso de Uso
Administración Pública	Gobierno de Colombia (MinTIC)	Plataforma de identidad digital soberana basada en blockchain para servicios públicos ¹⁶
Energía	Grupo ICE (Costa Rica)	Validación descentralizada de eventos críticos en redes eléctricas
Finanzas	Bancolombia	Onboarding digital con identidad descentralizada y contratos inteligentes antifraude
Industria	Grupo Éxito (Colombia)	Trazabilidad de proveedores y productos con blockchain y reputación digital
Telecomunicaciones	Claro Centroamérica	Verificación de integridad de contenidos y autenticación de dispositivos con Web3
Sanidad	Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS)	Consentimiento digital y compartición segura de datos clínicos con blockchain

Registraduría Nacional implementó piloto de identidad digital soberana con blockchain (2024)

5.1.4. Consideraciones de mercado

Administración Pública: Requiere interoperabilidad entre organismos y cumplimiento de leyes de protección de datos.

Energía: Alta criticidad exige certificaciones y pruebas de robustez.

Finanzas: Cumplimiento con reguladores locales y estándares internacionales (ISO 27001, NIST).

Industria: Integración con ERPs y sistemas de logística.

Telecomunicaciones: Escalabilidad y baja latencia para servicios en tiempo real.

Sanidad: Validación clínica, ética digital y protección de datos sensibles.

5.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Polygon ID: Identidad digital descentralizada basada en blockchain.

uPort: Plataforma de identidad soberana.

Auth0 (ahora parte de Okta): Gestión de identidad segura.

Globant: Desarrollo de soluciones Web3 para empresas.

Kleros: Resolución de disputas descentralizada.

5.1.6. Estadísticas recientes

Según EY, las ciberamenazas están creciendo exponencialmente en América Latina, impulsadas por IA generativa, IoT y ransomware ¹⁶.

La CEPAL recomienda fortalecer los marcos normativos y la cooperación regional para construir un ecosistema de confianza digital ¹⁷.

Gartner estima que para 2026, el 30% de las grandes organizaciones integrarán tecnologías Web3 para combatir la desinformación y proteger la integridad digital ¹⁸.

5.1.7. Referencias

Gartner, "Trends in Digital Trust and Web3," 2024.

McKinsey & Company, "Blockchain and Cybersecurity Innovations," 2023.

Forrester, "Enhancing Security Through Decentralization," 2024.

IBM Research, "Integrating Blockchain in Security Architectures," 2023.



5.2. | Desinformation security

Seguridad contra la desinformación: tecnologías basadas en IA para mitigar riesgos de desinformación.

La desinformación digital se ha convertido en una amenaza crítica para la estabilidad institucional, la confianza ciudadana y la integridad de los procesos democráticos. En regiones como Colombia, Centroamérica y el Caribe, donde el acceso a la información pública es desigual y las redes sociales son la principal fuente de noticias, la desinformación puede amplificarse rápidamente ¹⁹.

Ante este panorama, tecnologías emergentes como **Web3, blockchain, identidad descentralizada (DID) y arquitecturas Zero Trust** están siendo adoptadas para **verificar la autenticidad de la información, proteger la integridad de los datos y reforzar la transparencia** ²⁰.

5.2.1. Impacto en los negocios

Sector	Aplicaciones de Seguridad contra la Desinformación
Administración Pública	Verificación de identidad digital, trazabilidad de comunicaciones oficiales, protección electoral.
Energía y Utilities	Prevención de sabotaje informativo, autenticación de datos operativos, protección de reputación.
Finanzas y Seguros	Prevención de fraudes, suplantación de identidad y manipulación de reputación.
Industria y Retail	Protección de marca, autenticidad de productos, defensa contra campañas de boicot.
Telecomunicaciones y Medios	Verificación de contenido, trazabilidad de noticias, protección de plataformas.
Salud	Combate a la desinformación médica, verificación de fuentes clínicas, protección de datos sensibles.

5.2.2. Enfoque técnico

- **Detección Automática de Contenidos Falsos:** Algoritmos de IA entrenados para analizar patrones de lenguaje, metadatos y contextos de medios.
- **Modelos de Aprendizaje Profundo:** Redes neuronales como BERT o GPT que evalúan la veracidad de la información publicada en línea.
- **Monitoreo en Tiempo Real:** Herramientas como Dataminr y ZeroFOX escanean redes sociales y plataformas digitales para identificar posibles amenazas.
- **Blockchain para la Trazabilidad:** Verificación de la autenticidad de fuentes y contenidos mediante tecnología blockchain.
- **Análisis de Sentimientos:** Uso de IA para comprender cómo las audiencias perciben y reaccionan ante ciertos mensajes.
- **Automatización en la Moderación de Contenidos:** Herramientas como OpenAI Moderation API para detectar y eliminar contenidos engañosos.
- **Educación Basada en Simulaciones:** Plataformas que emplean realidad aumentada y gamificación para enseñar a los usuarios a identificar noticias falsas.

5.2.2.1. Tecnologías clave

- **Blockchain:** Registro inmutable de contenidos y eventos digitales.
- **Identidad Descentralizada (DID):** Autenticación de emisores de información sin intermediarios.
- **Contratos Inteligentes:** Automatización de reglas de verificación y trazabilidad.
- **Zero Trust Architecture:** Verificación continua de usuarios, dispositivos y fuentes.
- **IA para Detección de Desinformación:** Análisis semántico y detección de patrones de manipulación ²¹.

5.2.2.2. Arquitectura de integración

- Plataformas Web3 para gestión de identidades y contenidos verificados.
- Sistemas de verificación de contenido integrados con APIs blockchain y motores de IA.
- Redes de confianza basadas en reputación digital y validación descentralizada.

5.2.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Caso de Uso
Administración Pública	Gobierno de Colombia (con EY)	Identidad digital soberana para servicios ciudadanos.
Energía	ISA Intercolombia (con Globant)	Certificación blockchain de energía renovable.
Finanzas	Bancolombia	Onboarding digital con identidad descentralizada y validación antifraude.
Retail	Grupo Éxito (con Nexsys)	Trazabilidad de productos con blockchain.
Telecomunicaciones	Claro Centroamérica (con IDC)	Protección de contenido y verificación de noticias.
Salud	Ministerio de Salud de Panamá (con McKinsey)	Historia clínica interoperable con blockchain.

5.2.4. Consideraciones de mercado

Administración Pública: Requiere interoperabilidad entre organismos y cumplimiento del RGPD.

Energía: Necesita integración con sistemas SCADA y validación de alertas en tiempo real.

Industria: Debe proteger la reputación digital y gestionar crisis de comunicación.

Finanzas: Cumplimiento con regulaciones del Banco de España y la CNMV.

Telecomunicaciones: Escalabilidad para grandes volúmenes de contenido y baja latencia.

Sanidad: Validación científica, ética médica y protección de datos clínicos.

5.2.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Truepic: Verificación de imágenes y videos con metadatos seguros.

Civic: Identidad digital descentralizada.

uPort: Identidad soberana para entornos Web3.

Deeptrace: Detección de deepfakes con IA.

5.2.6. Estadísticas recientes

Según Transparencia por Colombia, la desinformación es una de las principales barreras para el acceso a la información pública en el país ¹⁹.

Gartner estima que para 2026, el 30% de las grandes organizaciones integrarán tecnologías Web3 para combatir la desinformación y proteger la integridad digital ²⁰.

Forrester destaca que el uso de IA para fact-checking y análisis semántico será clave para mitigar la manipulación informativa en América Latina ²¹.

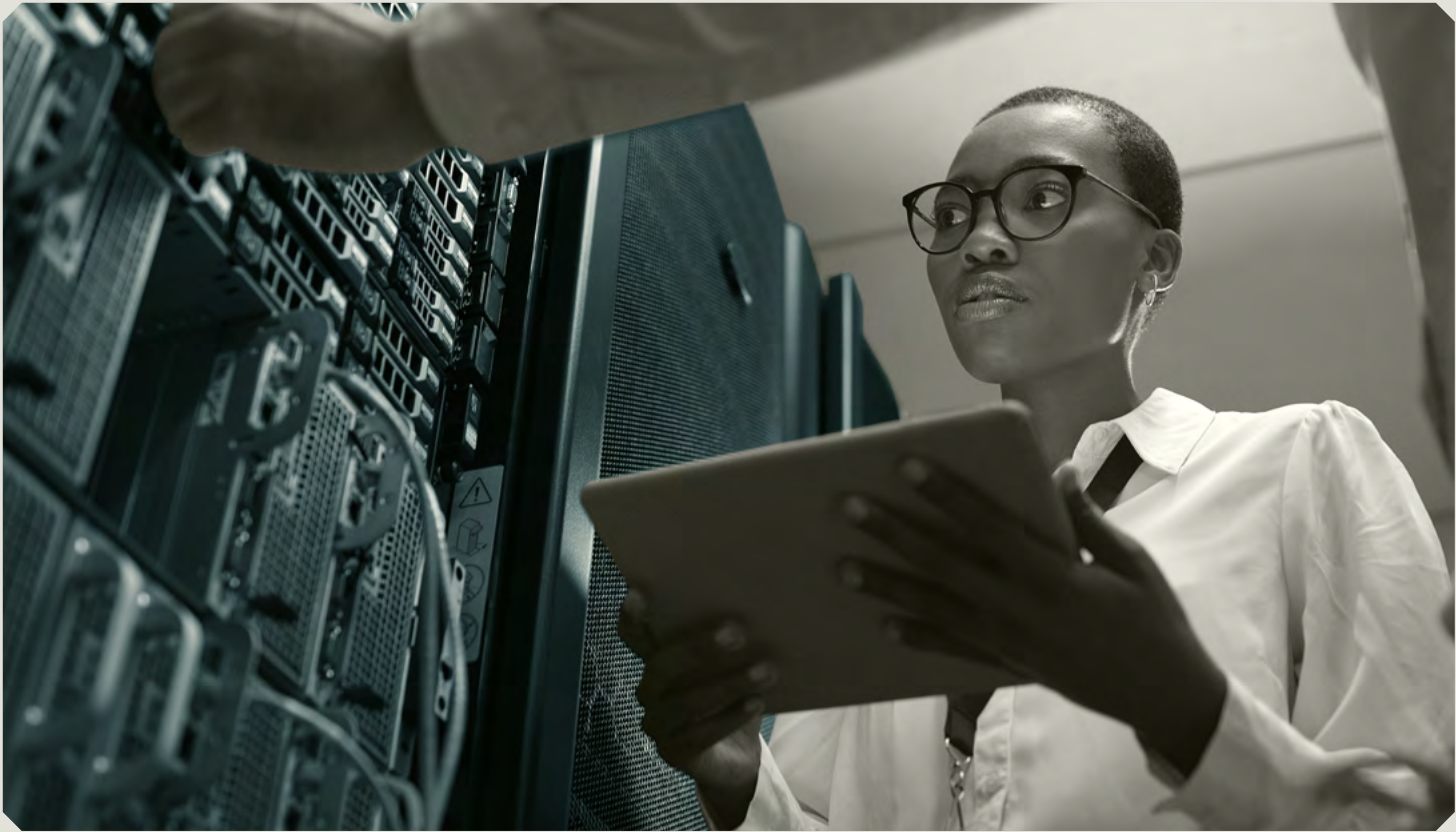
5.2.7. Referencias

Gartner, "Combating Disinformation with AI," 2024.

McKinsey & Company, "Securing Trust in the Digital Age," 2023.

Forrester, "Blockchain and AI for Trust," 2023.

IBM Watson, "AI for Information Integrity," 2023.



5.3. | Post-quantum cryptography

Criptografía poscuántica: métodos criptográficos resistentes a amenazas de computación cuántica.

La computación cuántica promete resolver problemas complejos con una velocidad sin precedentes, pero también representa una amenaza crítica para los sistemas criptográficos actuales. Algoritmos como RSA y ECC, ampliamente utilizados en banca, salud y gobierno, podrían ser vulnerables ante ataques cuánticos. La **criptografía post-cuántica (PQC)** surge como una solución para garantizar la confidencialidad y la integridad de los datos en un futuro dominado por la computación cuántica ^{22 23}.

En América Latina, gobiernos y empresas están comenzando a evaluar e implementar algoritmos resistentes a la cuántica, anticipándose a la amenaza de “capturar ahora, descifrar después”, que permitiría a los atacantes almacenar datos cifrados hoy para descifrarlos en el futuro ²⁴.

5.3.1. Impacto en los negocios

Sector	Aplicaciones de PQC
Administración Pública	Protección de identidad digital, comunicaciones gubernamentales seguras, firma electrónica resistente a ataques cuánticos.
Energía y Utilities	Seguridad en redes SCADA, autenticación de dispositivos IoT, protección de datos operativos.
Finanzas y Seguros	Cumplimiento normativo, protección de transacciones y prevención de fraudes.
Industria y Retail	Protección de transacciones, autenticación de productos, seguridad en pagos digitales.
Telecomunicaciones y Medios	Cifrado de extremo a extremo, protección de redes 5G, integridad de contenido multimedia.
Salud	Protección de historias clínicas, firma digital de consentimientos, interoperabilidad segura entre instituciones.

5.3.2. Enfoque técnico

- **Algoritmos Resistentes a Cuántica:** NIST ha identificado algoritmos como CRYSTALS-Kyber y CRYSTALS-Dilithium como candidatos líderes para estándares de criptografía post-cuántica.
- **Infraestructura de Claves Públicas (PKI):** Actualización de infraestructuras existentes para soportar algoritmos PQC sin comprometer la interoperabilidad.
- **Híbridos Criptográficos:** Implementación de sistemas que combinen algoritmos tradicionales y PQC para facilitar la transición gradual.
- **Simulaciones de Resiliencia:** Pruebas de vulnerabilidad cuántica mediante entornos simulados para identificar puntos débiles en sistemas actuales.
- **Optimización Computacional:** Diseño de algoritmos PQC que sean eficientes en términos de uso de recursos y tiempo de procesamiento.
- **Migración Gradual:** Estrategias para actualizar sistemas existentes con el mínimo impacto en las operaciones diarias.

5.3.3. Casos de uso por mercado

Sector	Cliente	Caso de Uso
Administración Pública	Gobierno de Colombia (MinTIC)	Evaluación de algoritmos PQC en sistemas de identidad digital y comunicaciones seguras
Energía	Grupo ICE (Costa Rica)	Pruebas de cifrado post-cuántico en redes SCADA y sensores IoT
Finanzas	Bancolombia	Sandbox de criptografía post-cuántica para banca digital y firma electrónica avanzada
Industria	Grupo Éxito (Colombia)	Protección de propiedad intelectual y datos de clientes con cifrado resistente a cuántica
Telecomunicaciones	Claro Centroamérica	Integración de PQC en redes 5G y cifrado de extremo a extremo en servicios digitales
Sanidad	Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS)	Cifrado post-cuántico para historiales médicos y consentimientos digitales en telemedicina

5.3.4. Consideraciones de mercado

- Administración Pública:** Alineación con marcos regulatorios nacionales y soberanía digital.
- Energía:** Compatibilidad con sistemas industriales y baja latencia.
- Finanzas:** Cumplimiento con reguladores locales y estándares internacionales (ISO 27001, NIST).
- Industria:** Integración con sistemas legacy y ERPs.
- Telecomunicaciones:** Escalabilidad y compatibilidad con infraestructuras existentes.
- Sanidad:** Validación clínica, interoperabilidad y cumplimiento de normativas de protección de datos.

5.3.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Globant: Consultoría en ciberseguridad cuántica.

Nexsys: Distribución de soluciones criptográficas avanzadas en LATAM.

Crypto4A: Infraestructura de confianza cuántica.

5.3.6. Estadísticas recientes

Gartner estima que para 2030, el 50% de las organizaciones incluirán PQC en sus estrategias de ciberseguridad ²².

En América Latina, el 60% de las instituciones financieras están evaluando tecnologías de cifrado avanzadas para proteger datos sensibles ²³.

Forrester destaca que la transición a PQC debe comenzar antes de 2027 para evitar vulnerabilidades críticas ²⁴.

5.3.7. Referencias

Gartner, "The Future of Post-Quantum Cryptography," 2024.

McKinsey & Company, "Quantum Security Trends," 2023.

Forrester, "Building Resilience with PQC," 2023.

IBM Research, "Quantum-Safe Cryptographic Solutions," 2023.



6.1. | Sustainable IT technology

Tecnología sostenible: aprovechando la tecnología para lograr objetivos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG).

La sostenibilidad se ha convertido en un eje estratégico para las organizaciones en América Latina. En Colombia, por ejemplo, la sostenibilidad corporativa ha ganado relevancia como componente clave de la estrategia empresarial, aunque aún enfrenta desafíos estructurales en su integración al modelo económico ²⁵. En este contexto, la **tecnología sostenible** —que incluye desde plataformas de monitoreo ambiental hasta inteligencia artificial para eficiencia energética— está siendo integrada en las estrategias de TI para **reducir emisiones, optimizar recursos y generar valor a largo plazo**.

6.1.1. Impacto en los negocios

Sector	Aplicaciones de Tecnología Sostenible
Administración Pública	Plataformas digitales para servicios ciudadanos sostenibles, reducción de papel, eficiencia energética en infraestructura.
Energía y Utilities	Monitoreo ambiental con IoT, redes inteligentes, optimización de consumo energético.
Finanzas y Seguros	Modelos de riesgo climático, reporting ESG automatizado, finanzas sostenibles.
Industria y Retail	Trazabilidad de productos, economía circular, reducción de emisiones en logística.
Telecomunicaciones y Medios	Centros de datos verdes, redes 5G eficientes, contenido digital con menor huella de carbono.
Salud	Historia clínica digital, telemedicina, reducción de residuos hospitalarios mediante automatización.

6.1.2. Enfoque técnico

La implementación de tecnologías sostenibles requiere una combinación de herramientas, procesos y gobernanza:

6.1.2.1. Tecnologías Clave

- **Cloud Sostenible:** Migración a nubes con energía renovable y eficiencia energética.
- **IoT Verde:** Sensores para monitorear consumo energético y emisiones.
- **Blockchain:** Trazabilidad de materiales y verificación de prácticas sostenibles.
- **IA para Optimización Energética:** Algoritmos que reducen consumo y emisiones.
- **Gemelos Digitales:** Simulación de impacto ambiental de procesos industriales.

6.1.2.2. Arquitectura ESG Integrada

- Plataformas ESG con dashboards para seguimiento de KPIs ambientales y sociales.
- Integración con ERP y CRM para trazabilidad y cumplimiento normativo.
- Automatización de reporting para cumplir con regulaciones como las IFRS S1 y S2 ²⁵.

6.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Caso de Uso
Administración Pública	Gobierno de Medellín	Plataforma de gestión energética de edificios públicos con IoT y cloud verde
Energía	Grupo ICE (Costa Rica)	Gemelos digitales para optimizar redes eléctricas y reducir emisiones
Finanzas	Bancolombia	Plataforma ESG para reporting automatizado y análisis de riesgo climático
Industria y Retail	Grupo Éxito (Colombia) [en exploración]	Blockchain para trazabilidad de proveedores y materiales sostenibles
Telecomunicaciones	Claro Centroamérica	Optimización energética de redes y centros de datos con IA
Sanidad	Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS)	Hospital inteligente con gestión energética y digitalización de procesos clínicos

Grupo Nutresa implementa trazabilidad ESG en su cadena de suministro con tecnología blockchain (2024).

6.1.4. Consideraciones de mercado

Administración Pública: Requiere interoperabilidad, accesibilidad y cumplimiento con normativas locales.

Energía: Necesita integración con sistemas SCADA y cumplimiento de normativas ambientales.

Finanzas: Cumplimiento con reguladores locales y estándares internacionales (IFRS, GRI).

Industria: Alineación con estándares como ISO 14001 y economía circular.

Telecomunicaciones: Escalabilidad y eficiencia energética en infraestructuras.

Sanidad: Validación clínica, interoperabilidad y protección de datos sensibles.

6.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Globant: Soluciones de TI con enfoque ESG.

Haceb: Centro de economía circular en Colombia.

Enka: Reciclaje de PET y textiles para producción sostenible.

Lafayette: Textiles reciclados con trazabilidad circular.

GreenCloud: Infraestructura cloud con energía renovable

6.1.6. Estadísticas recientes

Según EY, los efectos del cambio climático como El Niño y La Niña han generado pérdidas económicas superiores a los 2.000 millones de dólares en Colombia ²⁵.

Gartner destaca que más del 60% de los proveedores de software ESG priorizan la facilidad de uso e integración como propuesta de valor clave ²⁶.

IDC prevé que para 2026, el 70% de las empresas latinoamericanas integrarán métricas ESG en sus estrategias digitales.

6.1.7. Referencias

Gartner, "Trends in Sustainable Technology," 2024.

McKinsey & Company, "ESG and Digital Transformation," 2023.

Forrester, "Technology for a Greener Future," 2024.

Microsoft Sustainability Report, 2023.

ITO Transformation

D7



7.1. | Private cloud

Nube privada: crecimiento de la Inversión Impulsada por cambios en los precios de nube pública y la dominancia de proveedores clave.

La adopción de la nube ha sido un pilar clave en la transformación digital de las empresas latinoamericanas. Sin embargo, el aumento de los costos en la nube pública, la complejidad de los modelos de facturación y la dependencia de un número reducido de proveedores están impulsando una nueva ola de **inversión en alternativas de nube privada**.

Según EY, el 35% de las organizaciones financieras en Latinoamérica ya están al límite o sobrepasan sus proyecciones de gasto en la nube, lo que ha motivado una reevaluación de sus estrategias de infraestructura ²⁸.

7.1.1. Impacto en los negocios

Sector	Aplicaciones de Nube Privada
Administración Pública	Soberanía de datos, cumplimiento normativo, servicios digitales seguros.
Energía y Utilities	Control sobre datos operativos, integración con sistemas SCADA, resiliencia.
Finanzas y Seguros	Cumplimiento con reguladores locales, cifrado avanzado y auditoría de transacciones.
Industria y Retail	Optimización de costos, control de datos sensibles, continuidad operativa.
Telecomunicaciones y Medios	Gestión de contenido, baja latencia, almacenamiento seguro.
Salud	Protección de historias clínicas, interoperabilidad segura, cumplimiento HIPAA/ISO.

7.1.2. Enfoque técnico

La implementación de una nube privada implica varias capas tecnológicas y decisiones estratégicas:

- **Infraestructura Hiperconvergente (HCI):** Combina cómputo, almacenamiento y redes en un solo sistema, optimizando la eficiencia y escalabilidad.
- **Automatización y Orquestación:** Plataformas como OpenStack y VMware vSphere permiten gestionar recursos de manera eficiente.
- **Seguridad y Cumplimiento:** Integración de herramientas de monitoreo y protección avanzadas para cumplir con normativas como GDPR, HIPAA y otras locales.
- **Integración con Nubes Públicas:** Soluciones híbridas como Microsoft Azure Stack y AWS Outposts facilitan la transición y coexistencia entre entornos.
- **Optimización del Rendimiento:** Uso de redes de alta velocidad y almacenamiento SSD para minimizar latencia y mejorar la eficiencia.

7.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Caso de Uso
Administración Pública	Gobierno de Panamá	Plataforma de servicios digitales sobre nube privada soberana para garantizar cumplimiento normativo
Energía	Grupo ICE (Costa Rica)	Migración de sistemas SCADA a infraestructura privada con redundancia híbrida
Finanzas	Bancolombia	Plataforma bancaria sobre nube privada con cifrado post-cuántico y cumplimiento regulatorio
Industria	Grupo Éxito (Colombia)	Modernización de ERP y sistemas logísticos sobre nube privada con integración IoT
Telecomunicaciones	Claro Centroamérica	Edge cloud privada para procesamiento de datos 5G y servicios de baja latencia
Sanidad	Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS)	Historia clínica electrónica y telemedicina sobre infraestructura privada certificada

7.1.4. Consideraciones de mercado

- Administración Pública:** Requiere alineación con marcos regulatorios nacionales y soberanía digital.
- Energía:** Necesita alta disponibilidad, integración con OT y certificaciones ISO 27001.
- Finanzas:** Cumplimiento con reguladores financieros y auditoría continua.
- Industria:** Compatibilidad con sistemas legacy y escalabilidad.
- Telecomunicaciones:** Baja latencia, edge computing y gestión de tráfico intensivo.
- Sanidad:** Validación clínica, interoperabilidad HL7/FHIR y protección de datos sensibles.

7.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Latinoamericanas:

NEXSYS (distribución tecnológica), KIO Networks (infraestructura cloud), Alestra, Globant Latam (transformación digital).

Ucloud: Proveedor regional de nube privada en Colombia.

7.1.6. Estadísticas recientes

El 50% de las organizaciones financieras en Latinoamérica alojan menos del 25% de su portafolio de aplicaciones en la nube, pero más del 50% planea migrar una cuarta parte en los próximos tres años ²⁸.

El 68% de las empresas cuenta con un plan específico para mejorar las habilidades de nube de sus colaboradores ²⁸.

El 35% de las organizaciones están al límite o sobrepasan sus proyecciones de gasto en la nube pública ²⁸.

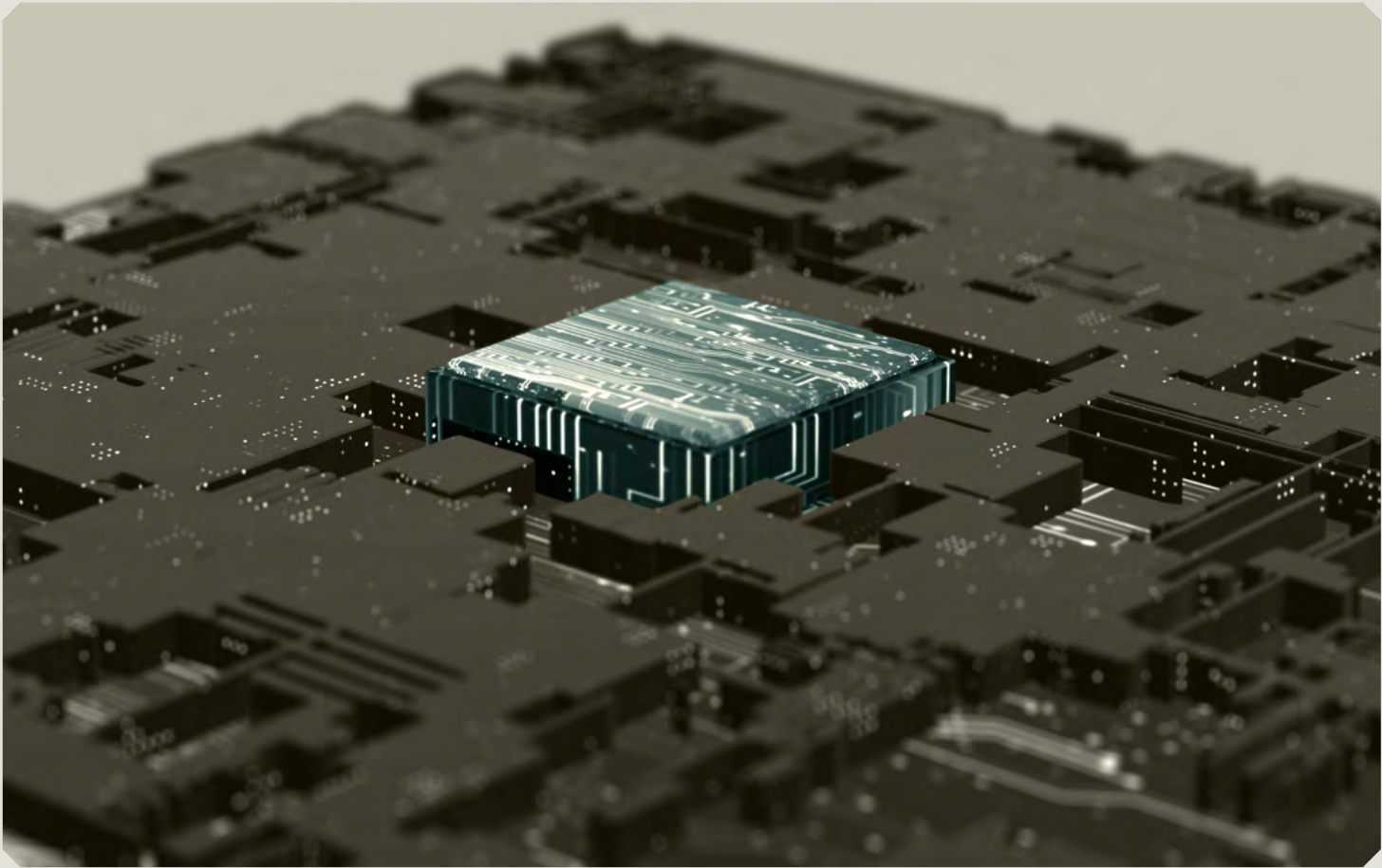
7.1.7. Referencias

Gartner, “Top Trends in Cloud Computing,” 2024.

McKinsey & Company, “Hybrid and Private Cloud Solutions,” 2023.

Forrester, “Navigating the Private Cloud Landscape,” 2024.

Red Hat Research, “Open Source Solutions for Private Clouds,” 2023.



7.2. | Hybrid computing

Integración de diferentes modelos de computación para la eficiencia en la resolución de problemas complejos.

La **computación híbrida** combina recursos locales (on-premise), servicios en la nube pública y privada, edge computing y, en algunos casos, capacidades de computación de alto rendimiento (HPC). Este enfoque permite a las organizaciones **optimizar costos, mejorar la resiliencia operativa y acelerar la innovación**. Según Gartner, para 2025, la computación híbrida será una de las principales tendencias estratégicas para resolver casos de uso disruptivos a gran escala ³¹.

En América Latina, y especialmente en Colombia, Centroamérica y el Caribe, sectores como banca, energía, salud y administración pública están liderando esta transformación, impulsados por la necesidad de **escalabilidad, cumplimiento normativo y eficiencia operativa**.

7.2.1. Impacto en los negocios

Sector	Impacto de la Computación Híbrida
Administración Pública	Integración de sistemas legacy con cloud soberana y eficiencia operativa
Energía y Utilities	Procesamiento en tiempo real con edge y cloud privada para monitoreo ambiental
Finanzas y Seguros	Modelado de riesgos, detección de fraudes y cumplimiento normativo
Industria y Retail	Optimización de cadena de suministro con IA híbrida y ERP en la nube
Telecomunicaciones	Orquestación de redes 5G y edge computing para baja latencia
Sanidad	Interoperabilidad de datos clínicos y simulaciones biomédicas en entornos híbridos

7.2.2. Enfoque técnico

La arquitectura de computación híbrida incluye:

7.2.2.1. Componentes Clave

- **Cloud Pública y Privada:** Elasticidad y control de datos sensibles.
- **Edge Computing:** Procesamiento local para baja latencia.
- **Contenedores y Orquestación:** Kubernetes, OpenShift.
- **Data Fabric:** Acceso unificado a datos distribuidos.
- **Zero Trust:** Seguridad continua en entornos distribuidos.

7.2.2.2. Arquitectura de Referencia

- Infraestructura híbrida con integración de centros de datos locales y nubes públicas (Azure, AWS, Google Cloud).
- Plataformas de gestión multicloud para gobernanza, costos y cumplimiento.
- IA distribuida: entrenamiento en cloud, inferencia en edge.

7.2.3. Casos de uso por mercado

Sector	Cliente	Caso de Uso
Administración Pública	Ministerio TIC	Plataforma híbrida para interoperabilidad de servicios digitales
Energía y Utilities	Grupo Energía Bogotá	Edge cloud para monitoreo de redes y predicción de fallos
Finanzas	Bancolombia	Plataforma híbrida para detección de fraudes y cumplimiento normativo
Industria y Retail	Químicos Industriales Jorval SAS	ERP híbrido con analítica en la nube y control de procesos
Telecomunicaciones y Media	Claro Colombia	Orquestación de red 5G con edge y cloud pública
Sanidad	Hospital Universitario San Ignacio	Plataforma híbrida para historia clínica y simulación médica

ETB migró su infraestructura a nube híbrida con soluciones de Huawei Cloud (2024).

7.2.4. Consideraciones de mercado

- Energía:** Integración con sistemas SCADA y alta disponibilidad.
- Finanzas:** Cumplimiento con reguladores locales y auditoría continua.
- Industria:** Compatibilidad con sistemas legacy y escalabilidad.
- Telecomunicaciones:** Baja latencia, edge computing y gestión de datos masivos.
- Sanidad:** Interoperabilidad HL7/FHIR, protección de datos y validación clínica.

7.2.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Ualet: Fintech con arquitectura híbrida.

Kubo: Plataforma de salud digital con edge y cloud.

Globant: Arquitectura híbrida y edge para sectores regulados.

7.2.6. Estadísticas recientes

Según IDC, el mercado de TI en América Latina crecerá un 11.1% en 2024, impulsado por la adopción de modelos híbridos y edge computing ³².

EY destaca que las juntas directivas en Colombia priorizan la innovación tecnológica como eje de resiliencia y competitividad para 2025 ³³.

Gartner estima que para 2026, más del 60% de las empresas adoptarán arquitecturas híbridas para cargas críticas ³¹.

7.2.7. Referencias

Gartner, “The Rise of Hybrid Computing,” 2024.

Forrester, “Edge and Cloud: A Hybrid Future,” 2023.

McKinsey & Company, “Strategies for Hybrid IT Adoption,” 2023.

IBM Research, “Hybrid Cloud and Quantum Synergies,” 2023.



8.1. | Augmented connected workforce

Fuerza laboral aumentada y conectada: adopción de herramientas digitales para modelos de trabajo remoto e híbrido y el incremento de la productividad.

La transformación del trabajo en América Latina está siendo impulsada por la adopción de tecnologías digitales que permiten a los empleados colaborar, aprender y tomar decisiones de forma más inteligente y segura. La **fuerza laboral aumentada y conectada (ACWF)** combina herramientas como **IA, plataformas colaborativas, realidad aumentada (AR), IoT y análisis de datos** para mejorar la productividad, la experiencia del empleado y la eficiencia operativa.

Según la encuesta EY Work Reimagined 2024, solo el 32% de las organizaciones en América Latina tienen capacidades estratégicas de personal alineadas con una cultura digital y flexible, lo que representa una gran oportunidad de mejora ³⁴. McKinsey estima que millones de trabajadores en Centroamérica deberán cambiar de ocupación o función hacia 2030 debido a la automatización y la IA generativa ³⁵.

8.1.1. Impacto en los negocios

Sector	Impacto Empresarial Clave
Administración Pública	Mayor eficiencia operativa, transparencia, reducción de tiempos de respuesta.
Energía y Servicios Públicos	Supervisión remota, mantenimiento predictivo, continuidad operativa.
Finanzas y Seguros	Copilotos de IA para atención al cliente, cumplimiento normativo y análisis de riesgos
Industria y Retail	Automatización de procesos, gestión eficiente de la cadena de suministro, movilidad laboral.
Telecomunicaciones y Medios	Soporte técnico remoto, monitoreo de redes, capacitación virtual.
Salud	Telemedicina, colaboración clínica, gestión digital de pacientes.

8.1.2. Enfoque técnico

8.1.2.1. Tecnologías Clave

- **IA Generativa y Copilotos:** Asistentes digitales para tareas repetitivas y toma de decisiones.
- **Plataformas de Colaboración:** Microsoft Teams, Google Workspace, Zoom.
- **Realidad Aumentada (AR):** Soporte remoto y formación técnica.
- **IoT y Wearables:** Monitorización de salud y seguridad laboral.
- **Digital Experience Monitoring (DEM):** Análisis de experiencia del empleado en tiempo real.

8.1.2.2. Arquitectura de Integración

- Infraestructura cloud-first con seguridad Zero Trust.
- Gestión unificada de dispositivos (UEM).
- Integración con sistemas de RRHH, ERP y LMS

8.1.3. Casos de uso por mercado

Sector	Empresa	Caso de Uso
Administración Pública	Gobierno de Colombia (Función Pública)	Plataforma de formación digital para empleados públicos y automatización de procesos administrativos ³⁴
Energía	Grupo ICE (Costa Rica)	Asistencia remota con AR para técnicos de campo y gestión predictiva de activos
Finanzas	Bancolombia	Copilotos de IA para atención al cliente y análisis de cumplimiento normativo
Industria	Grupo Éxito (Colombia)	Formación inmersiva con realidad virtual y gestión de turnos con IA
Telecomunicaciones	Claro Centroamérica	Gestión de red distribuida con dashboards de productividad y soporte técnico remoto
Sanidad	Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS)	Telemedicina y formación médica con realidad mixta y asistentes cognitivos

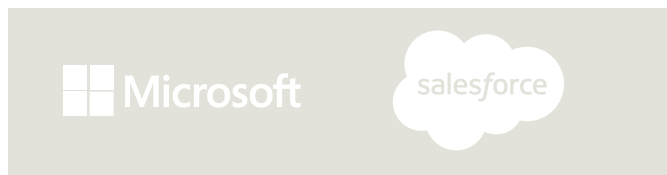
Ministerio de Educación de Colombia implementó plataformas de realidad aumentada para formación docente (2024) (en exploración)

8.1.4. Consideraciones de mercado

- Administración Pública:** Requiere interoperabilidad, accesibilidad y formación digital.
- Energía:** Necesita conectividad en campo y dispositivos robustos.
- Finanzas:** Cumplimiento normativo y protección de datos sensibles.
- Industria:** Integración con sistemas de producción y logística.
- Telecomunicaciones:** Escalabilidad y baja latencia.
- Sanidad:** Validación clínica, interoperabilidad y ética médica.

8.1.5. Empresas y startups de referencia

Globales:



Globant: Desarrollo de plataformas colaborativas personalizadas.

NEXSYS: Distribuidor de soluciones Microsoft y VMware en la región.

Torre.co: Startup colombiana que conecta talento remoto con empresas globales.

Ualá: Fintech que promueve trabajo remoto con herramientas ágiles.

8.1.6. Estadísticas recientes

EY reporta que solo el 32% de las organizaciones en América Latina tienen capacidades estratégicas de personal alineadas con una cultura digital y flexible ³⁴.

McKinsey estima que millones de trabajadores en Centroamérica deberán cambiar de ocupación o función hacia 2030 debido a la automatización y la IA generativa ³⁵.

Gartner prevé que para 2026, el 50% de los trabajadores del conocimiento estarán aumentados por IA en sus tareas diarias.

8.1.7. Referencias

Gartner, "Trends in Augmented Workforce," 2024.

McKinsey & Company, "Digital Transformation in the Workplace," 2023.

Forrester, "Workforce Tools and Productivity Insights," 2024.

Microsoft Research, "The Role of Collaboration Platforms in Hybrid Work," 2023.

Tech for the future

Tecnología que nos prepara
para el futuro