

Sostenibilidad 4.0

Eficiencia energética y energías limpias para el desarrollo digital de América Latina y el Caribe

Ángel Melguizo, Manuel Balmaseda y Víctor Muñoz

Sostenibilidad 4.0

Eficiencia energética y energías limpias para el desarrollo digital de América Latina y el Caribe

Ángel Melguizo
Manuel Balmaseda
Víctor Muñoz

fundación carolina

Fundación Carolina, noviembre 2026

Fundación Carolina
Plaza del Marqués de Salamanca, 8. 4ª planta
28006 Madrid - España
www.fundacioncarolina.es
@Red_Carolina

REALIZACIÓN GRÁFICA:
Calamar Edición & Diseño

ISBN: 978-84-09-93033-3
Depósito Legal: M-26573-2026

La Fundación Carolina no comparte necesariamente
las opiniones manifestadas en los textos firmados
por los autores y autoras que publica.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0
Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)



En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso
de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma
sostenible.

Índice

Agradecimientos 7
Resumen 9
Abstract 11
Introducción 13
1. La sostenibilidad en el uso de recursos naturales como factor de competitividad en la economía digital 17

1.1. El desafío del uso de recursos naturales en la carrera de la IA. La energía determinará a los ganadores digitales 17

1.2. Energía y crecimiento económico en América Latina y el Caribe: fundamentos e impacto macroeconómico 37

1.3. Hacia un enfoque ESG adaptado a la economía de la IA: digitalización, energía y simplicidad 61

2. Midiendo los avances en sostenibilidad e innovación en Iberoamérica. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI 69

2.1. La utilidad de un índice de empresas líderes en sostenibilidad ... 69

2.2. Fuentes estadísticas y definiciones 72

2.3. Metodología 79

2.4. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales (IIRED) Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI 93

3. Más allá del índice. Gobernanza, buenas prácticas empresariales y alianzas público-privadas en Iberoamérica para una revolución digital verde 109

3.1. Gobernanza pública. El Estado como habilitador: reglas claras, permisos ágiles e incentivos condicionados 110

3.2. Alianzas público-privadas 112

3.3. Buenas prácticas empresariales 114

4. Conclusiones y ejes de acción para un impulso digital sostenible iberoamericano: política industrial 4.0 transparencia y ESG renovado ... 127

Anexo I. Ránkings extendidos 137
Anexo II. Robustez de los resultados 151
Referencias bibliográficas 155

Agradecimientos

Llegamos al tercer volumen de la trilogía Fundación Carolina-ARGIA y por ello, estos agradecimientos son especiales. Han sido tres años de colaboración con la Fundación, en los que hemos abordado el potencial de la alianza digital entre Europa y América Latina y el Caribe, la contribución al desarrollo de invertir en el capital humano específico para la revolución de la inteligencia artificial (IA), y en esta ocasión la necesidad de impulsar una digitalización responsable con el uso de recursos, en especial de energía.

En este camino iniciado en 2023 muchas cosas han cambiado, algunas inesperadas al menos en su escala. Como ilustración, la capitalización bursátil conjunta de las siete grandes tecnológicas (Alphabet, Amazon, Apple, Meta, Microsoft, NVIDIA y Tesla) más que se duplicó entre junio de 2023 y junio de 2026, registrando un impresionante aumento diario de más de 10.000 millones de dólares, equivalente a sumar un PIB anual de Uruguay cada semana, o el PIB de España cada siete meses. También hemos sido testigos del regreso de la geopolítica como fuerza económica dominante y, relacionado con ello, el regreso de la política industrial, apoyada desde todas las instituciones internacionales. Y en lo social y personal, pocos esperaban una normalización de conversar con máquinas gracias a la expansión de la IA generativa. Creemos haber podido construir sobre esas innovaciones un discurso positivo y constructivo sobre el potencial de desarrollo digital en América Latina y el Caribe, sobre las enormes posibilidades de la relación con España y Europa, y sobre la fortaleza de aliarse con el sector privado a ambos lados del Atlántico.

Una de las otras novedades en la agenda mundial es el enorme apetito energético de la IA. Casi nadie fuera de círculos especializados hablaba en 2023 de electricidad para IA. Tres años después los centros de datos son un tema estratégico, las eléctricas y empresas energéticas se han beneficiado del auge de la IA, y la capacidad de generar electricidad empieza a verse como un cuello de

botella en la carrera digital. Por ello estamos especialmente satisfechos de cerrar la trilogía con este tema, destacando de nuevo el potencial de alianzas con empresas globales responsables y la oportunidad de desarrollo que esta carrera energético-digital abre para América Latina y el Caribe.

Este camino ha sido posible gracias a la confianza y apoyo de la Fundación Carolina, en particular de su actual directora Érika Rodríguez Pinzón, de su jefe de estudios José Andrés Fernández Leost y de todo su equipo en Madrid y en los cursos de verano de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Gracias totales.

En el caso de este volumen, querríamos destacar la colaboración y agradecer la generosidad de los colegas de Clarity AI, la fantástica *startup* fundada por Rebeca Minguela que trabaja con inversores, empresas y gobiernos para incorporar criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones mediante IA. Desde el primer día hemos formado un verdadero equipo con Julia Ortega, Patricia Pina y Guillermo Velázquez. También querríamos reconocer la contribución, sin que ello les responsabilice, de muchos con quienes hemos trabajado estos temas de IA, sostenibilidad y energía estos años. En especial Richard Benjamins, Ignacio Corlazzoli, Sandra Cortesi, Urs Gasser, Natalia González, Armando Guio, Alix Jagueneau, Juan Jung, Amir Lebdioui, Riad Meddeb, Diego Mesa, Gabriela Ramos, Javier Santiso, Mariagrazia Squicciarini, Ignacio Torreblanca y Hiroshi Wald.

Y gracias, querido lector. Esperamos que hayas disfrutado este camino de la trilogía tanto como nosotros. Quién sabe si nos reencontraremos en alguna precuela o, quizá, en algo que todavía está por comenzar.

Resumen

Avanzar hacia la sostenibilidad de la revolución de la inteligencia artificial (IA) constituye uno de los principales retos económicos y sociales de nuestro tiempo. Este libro analiza cómo la expansión de la IA transforma el uso de recursos naturales, en particular electricidad y agua, y qué implicaciones tiene para la competitividad y el desarrollo sostenible en Iberoamérica.

A partir de un modelo macroeconómico original que simula distintos escenarios de digitalización y expansión del sistema eléctrico en América Latina y el Caribe, de la construcción del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales (IIRED) Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI, basado en una base de datos construida para este proyecto de más de un millar de empresas líderes iberoamericanas, y del análisis de las mejores prácticas empresariales, se muestra que la sostenibilidad es un factor de competitividad en la economía digital. Asimismo, propone una actualización del enfoque ESG adaptada a la era de la IA, incorporando la eficiencia energética, la gestión del agua y la transparencia en el uso de recursos como nuevos pilares de la sostenibilidad empresarial.

Finalmente, se plantea una agenda de políticas públicas basada en una política industrial verde y digital, una gobernanza moderna de la IA y nuevos estándares de transparencia y certificación. En este contexto, Iberoamérica tiene la oportunidad de posicionarse como una región ejemplar en compatibilizar liderazgo digital, desarrollo económico y sostenibilidad ambiental mediante una estrategia de integración, innovación y atracción de inversiones en *IA verde*.

Abstract

Advancing in the sustainability of the Artificial Intelligence (AI) revolution is one of the defining economic and social challenges of our time. This book examines how the expansion of AI is reshaping the use of natural resources, particularly electricity and water, and it explores its implications for competitiveness and sustainable development across Iberoamerica.

Drawing on an original macroeconomic model that simulates alternative scenarios for digitalization and power system expansion in Latin America and the Caribbean, the construction of the Fundación Carolina–ARGIA–Clarity AI Ibero-American Strategic Digital Resources Index, based on a novel database of leading Ibero-American companies, and an analysis of corporate best practices, we show that sustainability is becoming an increasingly important driver of competitiveness in the digital economy. We also propose an updated ESG framework for the AI era, incorporating energy efficiency, water stewardship, and transparency in resource use as new pillars of corporate sustainability.

Finally, we set out a public policy agenda centered on green and digital industrial policy, modern AI governance, and new standards for transparency and certification. In this context, Iberoamerica has a unique opportunity to position itself as a frontier region in combining digital leadership, economic development, and environmental sustainability through a strategy based on regional integration, innovation, and the attraction of investment in *Green AI*.

Introducción

El proceso de transformación digital acelerada en el que está inmersa América Latina y el Caribe (ALC) abre desafíos notables en el ámbito de la sostenibilidad medioambiental en la región. La riqueza de ALC en minerales críticos clave para la manufactura de componentes esenciales como semiconductores y baterías incrementa la presión sobre los recursos naturales y la biodiversidad. Al mismo tiempo, el desarrollo de una *revolución digital verde*, compatible con la preservación de la biodiversidad —e incluso inspirada en la misma—, y el avance de la transición hacia energías renovables abren una oportunidad para que ALC sea no solo usuaria sino protagonista de la cadena de valor de la IA y otras tecnologías de frontera.

Detonar todo este potencial de desarrollo precisa de un involucramiento activo del sector privado, que no solo responda a iniciativas regulatorias, sino que impulse acciones responsables y alianzas con los Estados. La buena noticia es que ALC, y ello es compartido con España y Portugal, es sede de campeones globales en sectores digitalizados fundamentales para el desarrollo como banca y finanzas, salud, energía, movilidad o infraestructuras.

La experiencia regional reciente muestra que la velocidad de la transición digital verde no depende únicamente de la inversión privada, sino de la calidad de las reglas de juego: marcos regulatorios que otorguen certidumbre a la inversión en generación, redes y centros de datos; permisos ágiles y predecibles; incentivos condicionados a desempeño ambiental verificable; y una compra pública que actúe como demanda ancla de servicios digitales sostenibles. Este ensayo incorpora esa dimensión institucional como condición habilitante del círculo virtuoso entre digitalización, energía y sostenibilidad, con especial atención a las políticas pioneras que la región ya está ensayando.

A esas reglas de juego conviene añadir dos habilitantes que la región no siempre integra en la ecuación energético-digital: una gestión moderna del es-

pectro y de la conectividad troncal, incluidas la fibra y los cables submarinos que dan salida internacional a los centros de datos y un Estado digital interoperable que reduzca los costos de transacción de toda la inversión. Sin conectividad competitiva y sin instituciones digitales que funcionen, la energía limpia y barata es condición necesaria pero no suficiente para atraer cómputo de alto valor.

El análisis examina la contribución de la sostenibilidad al proceso de digitalización e impulso de la IA por empresas líderes en el sector tecnológico, energético, así como sectores intensivos en el uso de energía y agua, y por políticas públicas y alianzas público-privadas en América Latina y el Caribe. Para ello se apoya en los dos volúmenes previos *Digitales, verdes y aliados. Impacto económico, social y medioambiental de la iniciativa Global Gateway y la Alianza Digital UE-América Latina y el Caribe* y *Habilidades para la economía digital: Impacto económico y social de la formación para el presente y el futuro del trabajo en América Latina y el Caribe* que sentaron las bases de una transición digital verde y justa, y su potencial impacto económico y de creación de empleo formal, así como del modelo macroeconómico de simulación de ARGIA.

En primer lugar, el libro analiza el papel de la electricidad como condición de uso efectivo del capital tecnológico. La expansión de la IA, los servicios en la nube y los centros de datos puede elevar la productividad y el crecimiento, pero ese potencial solo se materializa si existen generación suficiente, redes adecuadas y seguridad de suministro. De lo contrario, parte del capital digital queda infrautilizado y la oportunidad se traduce en crecimiento no captado. Para cuantificar esta relación, se desarrolla un ejercicio macroeconómico original que simula distintos escenarios de inversión en infraestructura digital y energética para América Latina y el Caribe. Los resultados muestran que los mayores beneficios económicos se alcanzan cuando ambas inversiones avanzan de forma coordinada: la expansión del capital tecnológico genera un impacto significativamente superior sobre el PIB, la productividad y el empleo cuando está respaldada por un sistema eléctrico capaz de suministrar energía suficiente, fiable y limpia.

El análisis confirma así que la sostenibilidad energética no constituye únicamente un objetivo ambiental, sino un determinante directo del rendimiento económico de la transformación digital. Una senda de despliegue tecnológico gradual podría requerir, de forma acumulada hasta 2035, aproximadamente 600 mil millones de dólares de inversión tecnológica y 70 mil millones en infraestructura eléctrica. En un escenario más ambicioso, Green AI Valley, en el que América Latina y el Caribe se consolidara como un *hub* tecnológico global,

estas magnitudes podrían superar los 1000 millones de dólares en tecnología y 110 mil millones en generación y redes eléctricas.

El estudio revisa también los avances en los marcos de reporte y evaluación de la responsabilidad social corporativa, proponiendo una actualización del enfoque ESG adaptada a la economía de la inteligencia artificial, con especial atención a la eficiencia energética, el uso del agua y la transparencia sobre el consumo de recursos.

En segundo lugar, desarrolla un índice original, el Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI (IIRED), que mide la sostenibilidad corporativa, el uso de recursos y la gestión ambiental de empresas iberoamericanas líderes en sectores estratégicos. Para ello se emplea una base de datos construida junto con Clarity AI, con información sobre emisiones, energía, agua y políticas ambientales para 1.373 empresas de América Latina, España y Portugal en 2024. La muestra cubre los principales sectores de actividad, desde finanzas, tecnología y comunicación hasta energía, servicios públicos, materiales, salud, industria, consumo e inmobiliario, y permite identificar a las compañías que combinan liderazgo empresarial, eficiencia operativa y capacidad de gestión en la transición hacia una economía digital más sostenible.

En tercer lugar, se identificarán mejores prácticas de algunas de las empresas líderes del ránking, así como de referentes globales de los sectores tecnológico y energético. En particular, se analizarán experiencias que ilustran cómo la innovación y la sostenibilidad pueden reforzarse mutuamente mediante el desarrollo de infraestructuras digitales más eficientes, la mejora del rendimiento energético de centros de datos y algoritmos, la integración de energías renovables y almacenamiento, la digitalización de redes eléctricas, la gestión responsable del agua y otros recursos naturales, la financiación de la transición verde, la transparencia y gobernanza de la inteligencia artificial, así como el uso de soluciones digitales para impulsar la economía circular, la resiliencia climática y la protección de la biodiversidad.

Por último, se presentan algunos principios y prioridades de políticas de desarrollo para apoyar la entrada sostenible y con alto valor agregado de ALC en el ecosistema digital de la IA. Se plantean tres líneas de acción en políticas de desarrollo productivo verde y digital, en gobernanza de la IA y en el ámbito de la certificación en la responsabilidad y sostenibilidad de las actividades empresariales.

El año 2026 es especial. La Cumbre Iberoamericana de Jefes de Estado y de Gobierno de Madrid se une a otros avances en la integración de Europa y

América Latina con los tratados de comercio con México y MERCOSUR abriendo una ventana política inédita. En un mundo desafiante, Iberoamérica puede mostrar, tanto en sus políticas públicas y de integración, como por sus empresas líderes que la sostenibilidad energética es un factor de competitividad en la economía digital del siglo XXI.

1. La sostenibilidad en el uso de recursos naturales como factor de competitividad en la economía digital

1.1. El desafío del uso de recursos naturales en la carrera de la IA[1]. La energía determinará a los ganadores digitales

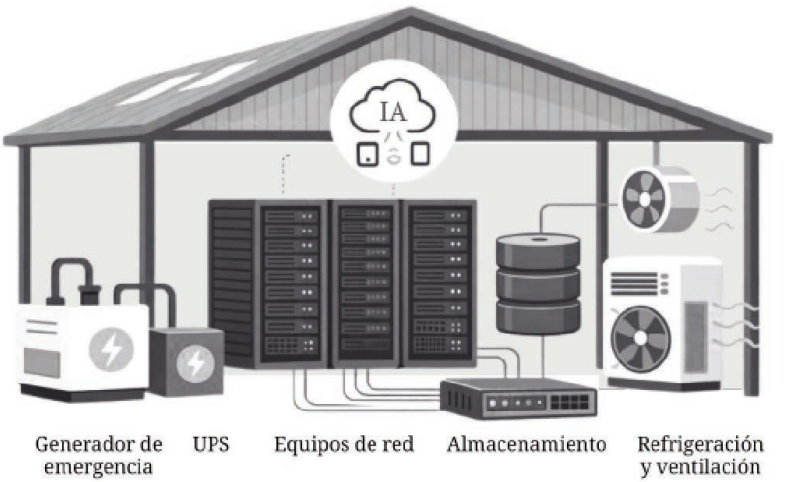
Durante gran parte de las últimas tres décadas se consolidó la idea de que la economía digital había logrado escapar de muchas de las restricciones físicas que habían condicionado históricamente el desarrollo económico. A diferencia de la industria manufacturera, dependiente de materias primas, transporte e infraestructuras energéticas, las actividades digitales se apoyaban en activos intangibles como código, datos, conocimiento y redes. Esta percepción contribuyó a la imagen de Internet como un espacio prácticamente inmaterial donde la innovación podía escalar indefinidamente con costes marginales cercanos a cero. Sin embargo, la rápida expansión de la inteligencia artificial (IA) está revelando los límites de esa interpretación y devolviendo la energía al centro de la ecuación económica.

La IA es, en esencia, una tecnología de transformación de electricidad en capacidad computacional. En los centros de datos *se transforma electricidad en inteligencia* (cuadro 1). El entrenamiento de modelos de frontera, la ejecución de inferencias a gran escala y la integración de sistemas inteligentes en empresas, administraciones públicas y hogares requieren volúmenes crecientes de procesamiento de datos. A medida que aumenta la complejidad de los modelos y se multiplica el número de usuarios, también lo hace la infraestructura necesaria para

[1] Este apartado sintetiza los principales fundamentos de *El código verde: IA + energía*, Melguizo y Muñoz (2026a).

sostenerlos. Detrás de cada avance en capacidad algorítmica existe una demanda paralela de energía, almacenamiento, refrigeración y conectividad.

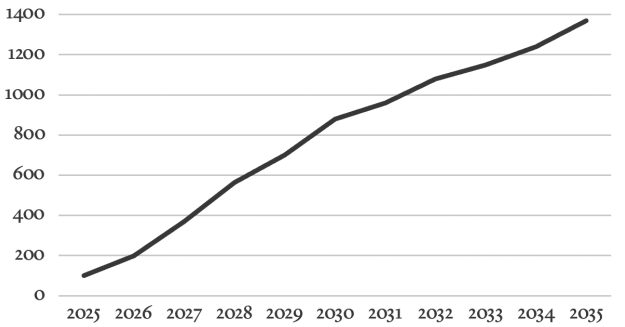
Cuadro 1. Infraestructura crítica para IA: energía, redes y enfriamiento



Fuente: Melguizo y Muñoz (2026a).

Las proyecciones disponibles ilustran la magnitud del fenómeno. Diversas estimaciones apuntan a que el consumo eléctrico asociado a la IA podría multiplicarse por catorce durante la próxima década hasta alcanzar aproximadamente 1.370 TWh en 2035, una cifra equivalente al consumo conjunto actual de Alemania y Japón (gráfico 1; Paccou y Wijnhoven, 2024). Más allá de la precisión de cualquier estimación individual, todas las proyecciones coinciden en que la IA se está convirtiendo en uno de los principales motores de crecimiento de la demanda eléctrica global. Lo que durante años fue un sector relativamente pequeño dentro del consumo energético mundial está evolucionando rápidamente hacia una actividad con implicaciones sistémicas para la planificación energética de países y regiones enteras.

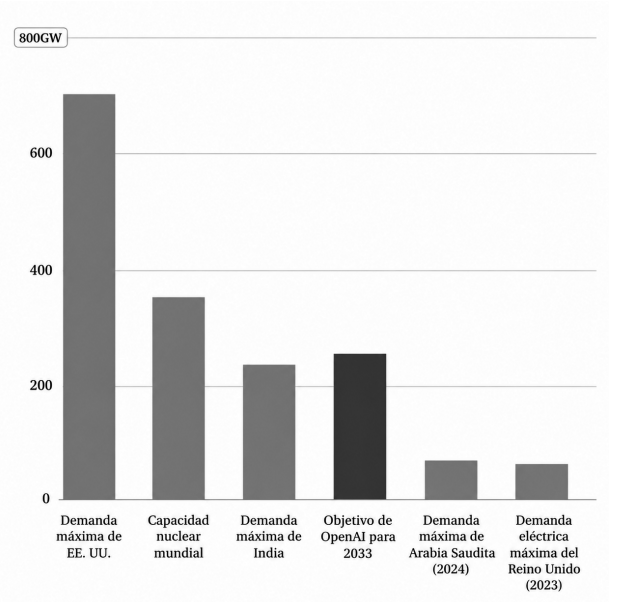
Gráfico 1. Consumo de energía por la IA en un escenario de aceleración (electricidad, TWh)



Fuente: Instituto de Investigación de Sostenibilidad de Schneider Electric, Paccou y Wijnhoven (2024).

Más ilustrativo si cabe, el CEO de OpenAI Sam Altman anunció que aspira a alcanzar 250 GW de capacidad de cómputo en total para 2033, aproximadamente un tercio del consumo máximo de electricidad de todo Estados Unidos (Altman, 2025; gráfico 2).

Gráfico 2. Proyecciones de demanda energética



Fuente: Gobierno del Reino Unido; Mordor Intelligence; Centre for Research on Energy and Clean Air; Agencia Internacional de la Energía (AIE); Departamento de Energía de EE.UU.

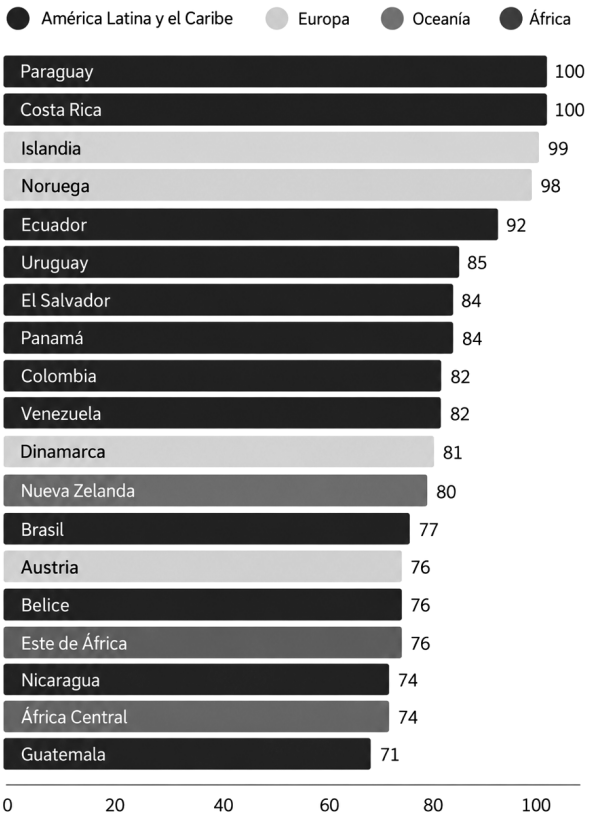
Esta transformación cambia los determinantes de la competitividad digital. Las ventajas comparativas tradicionalmente circunscritas a acceso a datos y capacidad de computación, a capital y talento, investigación científica o ecosistemas empresariales dinámicos son insuficientes. El coste de la electricidad, la capacidad de las redes, la disponibilidad de generación firme y la estabilidad regulatoria empiezan a desempeñar un papel igualmente decisivo en la localización de inversiones digitales. Dicho de otra manera, la carrera por la IA se está convirtiendo en una carrera por asegurar el acceso a una energía abundante, fiable y limpia (Melguizo y Muñoz, 2026a).

Como consecuencia, la política energética es hoy un componente esencial de la estrategia tecnológica y de las políticas de desarrollo. Países que hace apenas unos años discutían sobre subvenciones a *startups* o incentivos fiscales para la innovación están comenzando a debatir simultáneamente sobre capacidad de generación, almacenamiento energético, redes de transmisión y seguridad de suministro. La geopolítica de la IA no solo gira en torno a la energía, sino también en torno a los semiconductores o a los datos, como se ha visto en los últimos años.

Para América Latina esta realidad abre una ventana de oportunidad extraordinaria. La región dispone de una de las matrices eléctricas más limpias del mundo, abundantes recursos hidroeléctricos, solares y eólicos, y una capacidad considerable para expandir su generación renovable (gráfico 3). Si consigue combinar estas ventajas con inversión en infraestructura digital, competencias y habilidades laborales y marcos de gobernanza para atraer inversiones a largo plazo, podría posicionarse como un actor relevante en las nuevas cadenas globales de valor asociadas a la IA.

Conviene, no obstante, matizar el argumento para evitar una lectura complaciente: una matriz limpia no equivale a una matriz firme. Buena parte de la generación limpia regional es hidroeléctrica y, por tanto, sensible a sequías cada vez más frecuentes, como ilustraron las alertas y racionamientos recientes en Ecuador, Colombia o el sur de Brasil, mientras que la solar y la eólica aportan energía, pero no firmeza. Los centros de datos, en cambio, exigen suministro las 24 horas. La oportunidad regional dependerá, por tanto, de la abundancia de recursos y de la capacidad de convertirlos en potencia firme, mediante almacenamiento, hidroeléctrica gestionable, geotermia e integración regional, y de mecanismos de mercado que remuneren esa firmeza, como el cargo por confiabilidad colombiano o los mercados de capacidad. Es la diferencia entre tener energía limpia y poder garantizar electricidad limpia, fiable y continua.

Gráfico 3. Líderes mundiales en generación eléctrica renovable (%)



Nota: A nivel mundial, 20 países presentan porcentajes superiores al 70 % de participación de renovables en la generación eléctrica. Los datos mundiales corresponden al 2020, 2021 para Latinoamérica

Fuente: OLADE, Sistema de Información Energética para América Latina y el Caribe.

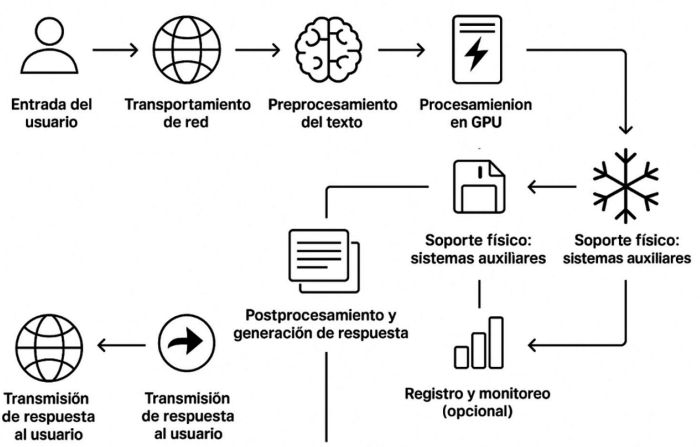
La nube es física

La expresión "computación en la nube" constituye probablemente una de las metáforas más exitosas de la historia tecnológica reciente, pero también es una de las más potencialmente engañosas. El término transmite una sensación de ligereza e inmaterialidad que ha contribuido a ocultar la enorme infraestructura física sobre la que descansa la economía digital contemporánea. Cuando hablamos de datos, plataformas digitales o IA solemos pensar en software, algoritmos y pantallas. Mucho menos frecuente es pensar en centrales eléctricas,

centros de datos, sistemas de refrigeración, cables submarinos o cadenas globales de suministro de minerales críticos.

Detrás de cada interacción digital existe una realidad profundamente material. Una simple consulta realizada a un sistema de IA recorre miles de kilómetros a través de redes de telecomunicaciones, atraviesa cables de fibra óptica y centros de intercambio de tráfico y termina llegando a instalaciones industriales especializadas donde enormes cantidades de hardware procesan información de manera continua (cuadro 2). Lo que para el usuario aparece como una respuesta instantánea es, en realidad, el resultado de una compleja coordinación de infraestructuras distribuidas por todo el planeta.

Cuadro 2. La infraestructura detrás de un *prompt* en IA Generativa



Fuente: Melguizo y Muñoz (2026a).

Los centros de datos constituyen el corazón de este ecosistema, al ser las *fábricas* de la economía digital. A diferencia de las plantas industriales tradicionales, no producen bienes tangibles sino capacidad de procesamiento, almacenamiento y transmisión de información. Sin embargo, comparten con cualquier otra instalación industrial una característica fundamental: consumen recursos físicos. Grandes cantidades de electricidad alimentan los servidores; sistemas de refrigeración disipan el calor generado por los procesadores; infraestructuras de respaldo garantizan continuidad operativa; y complejas redes logísticas aseguran el suministro permanente de componentes tecnológicos.

Esta materialidad suele pasar desapercibida porque gran parte de la infraestructura permanece invisible para los usuarios. Los miles de servidores que

responden una consulta, el agua utilizada para refrigerar equipos o la electricidad necesaria para mantener operativas las redes no son visibles. La expansión de la IA está haciendo visible esta realidad. Los nuevos modelos requieren capacidades computacionales muy superiores a las necesarias para las aplicaciones digitales tradicionales. Esto implica más servidores, mayor densidad energética, mayores necesidades de refrigeración y una creciente dependencia de infraestructuras físicas robustas.

Diseño más inteligente, no solo más potencia

La historia de la computación ha estado marcada por la lógica de aumentar continuamente la capacidad de procesamiento disponible. Durante décadas, la combinación de avances en semiconductores y economías de escala permitió multiplicar la potencia computacional reduciendo simultáneamente los costes. Esta dinámica alimentó la expansión de Internet, el desarrollo de la economía digital y, más recientemente, el extraordinario progreso de la IA. Sin embargo, la creciente presión energética asociada a los modelos avanzados está obligando a reconsiderar ese enfoque. El desafío ahora pasa de construir sistemas más potentes a construir sistemas más eficientes. A medida que aumenta el coste energético de la computación, e incluso la disponibilidad de suministro en algunas regiones y algunos momentos, la innovación comienza a desplazarse desde la mera ampliación de capacidad hacia la optimización del consumo por operación realizada.

En este contexto están emergiendo nuevas arquitecturas computacionales con potencial transformador. Los chips neuromórficos intentan replicar ciertos principios de funcionamiento del cerebro humano, procesando información de manera distribuida y activándose únicamente cuando resulta necesario. Su atractivo radica precisamente en la posibilidad de reducir drásticamente el consumo energético asociado al procesamiento continuo de datos. La computación óptica persigue un objetivo similar mediante una vía diferente: sustituir electrones por fotones para minimizar pérdidas energéticas y reducir la generación de calor. Los superconductores, por su parte, prometen niveles de eficiencia aún mayores al eliminar prácticamente la resistencia eléctrica bajo determinadas condiciones operativas.

A estas innovaciones se suman los ASIC especializados, diseñados específicamente para cargas de trabajo concretas relacionadas con la IA. Frente a los procesadores de propósito general, estos sistemas permiten optimizar el uso de

recursos y mejorar significativamente la eficiencia energética. El mismo principio inspira las denominadas fábricas de IA, donde computación, energía y gestión de datos se integran de manera coordinada para maximizar productividad y minimizar costes operativos.

La ventaja cuántica verde tardará en llegar

La computación cuántica ocupa ya un lugar central entre los círculos de debate tecnológico, y muy pronto será central en el debate económico y político. Desde hace años se le atribuye la capacidad de resolver problemas actualmente intratables para los sistemas clásicos, desde la simulación molecular hasta la optimización logística o el descubrimiento de nuevos materiales. Más recientemente, ha comenzado a surgir una narrativa adicional: la posibilidad de que la computación cuántica contribuya también a reducir la huella energética de determinadas tareas computacionales, dando lugar a lo que algunos investigadores han denominado una posible "ventaja cuántica verde".

Si determinados problemas pueden resolverse utilizando menos operaciones computacionales gracias a fenómenos como la superposición o el entrelazamiento cuántico, cabría esperar que también disminuyera la energía necesaria para alcanzar una solución. En ámbitos como la optimización de redes eléctricas, la simulación de materiales para baterías o la planificación logística compleja, incluso mejoras relativamente modestas de eficiencia podrían traducirse en beneficios económicos y ambientales significativos.

Sin embargo, la historia de la innovación tecnológica está llena de avances cuya relevancia conceptual quedó demostrada mucho antes de que alcanzaran la viabilidad económica a gran escala. La electricidad, la aviación comercial o internet atravesaron largos periodos de experimentación antes de convertirse en infraestructuras fundamentales para la economía mundial. La computación cuántica parece encontrarse todavía en una fase relativamente temprana de ese recorrido. Los sistemas cuánticos actuales siguen siendo extraordinariamente complejos. Requieren entornos operativos altamente controlados, inversiones significativas en infraestructura y un nivel de especialización técnica que limita su adopción.

Además, la ventaja cuántica no es universal. Incluso si los avances actuales continúan acelerándose, la mayor parte de las aplicaciones de IA seguirán dependiendo durante décadas de arquitecturas convencionales. La computación cuántica no sustituirá a los sistemas clásicos; convivirá con ellos y, probablemente, complementará determinadas tareas muy específicas donde sus ventajas resulten

evidentes. Por esta razón, la ventaja cuántica verde debe entenderse más como una apuesta estratégica de largo plazo que como una solución inmediata al desafío energético de la IA. Junto con los avances en nuevas arquitecturas, hardware especializado y algoritmos más eficientes, forma parte de una búsqueda más amplia orientada a desacoplar el crecimiento de la capacidad computacional del crecimiento del consumo energético.

La IA verde existe, pero requerirá tiempo y recursos

Existe una tendencia recurrente a presentar la relación entre tecnología y sostenibilidad en términos binarios. Según esta visión, la IA sería bien una amenaza ambiental inevitable o bien una solución tecnológica capaz de resolver automáticamente los problemas asociados al cambio climático. Ninguna de las dos interpretaciones resulta particularmente útil.

Sin duda, por lo expuesto, la IA aumenta significativamente el consumo energético. Los modelos avanzados requieren centros de datos cada vez más potentes, infraestructuras especializadas y cantidades crecientes de electricidad. Sin embargo, también ofrece herramientas extraordinariamente valiosas para mejorar la eficiencia de sistemas económicos enteros. Es cierto que algoritmos capaces de optimizar redes eléctricas, reducir desperdicios industriales, mejorar cadenas logísticas o incrementar la productividad de infraestructuras existentes pueden generar beneficios ambientales considerables.

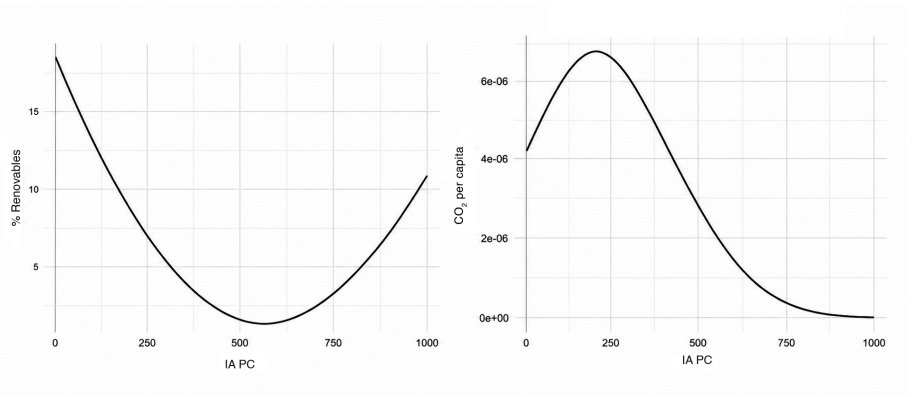
Esta dualidad recuerda a la lógica de la denominada «curva ambiental de Kuznets». Durante las primeras fases de desarrollo económico, el crecimiento suele venir acompañado de un aumento del consumo de recursos y de las emisiones. Posteriormente, la innovación tecnológica, la mejora institucional y la mayor eficiencia permiten desacoplar progresivamente el crecimiento económico del impacto ambiental. Las fases iniciales de expansión de la IA están asociadas a mayores necesidades energéticas. La construcción de centros de datos, el entrenamiento de modelos avanzados y la ampliación de la infraestructura digital implican inevitablemente un aumento del consumo de electricidad. Con el tiempo, sin embargo, la mejora de hardware, el avance de nuevas arquitecturas computacionales y la integración creciente de energías renovables podrían reducir significativamente la intensidad energética por unidad de procesamiento.

La evidencia empírica confirma que nada de esto ocurrirá automáticamente, y que se requerirán volúmenes de inversión considerables. La transición hacia una IA verdaderamente sostenible exigirá inversiones masivas en generación eléctrica,

almacenamiento energético, modernización de redes, investigación y desarrollo. Esta necesidad de inversión debe ir acompañada de una mejora sustancial en la medición y la transparencia del propio sector digital. El informe Greening Digital Companies 2024, elaborado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y la World Benchmarking Alliance, advierte que el rápido despliegue de la IA está incrementando el consumo eléctrico y las emisiones del sector tecnológico, al tiempo que pone de manifiesto importantes carencias en la divulgación de información sobre emisiones, uso de energía y compromisos climáticos.

Según una investigación académica reciente sobre la relación entre IA, consumo energético y emisiones de CO_2, en un panel de 23 economías de renta media y alta entre 2019-2023, en las primeras fases de desarrollo de la IA el consumo de energía no se ralentiza, sino que aumenta, igual que las emisiones, reflejando el fuerte crecimiento de la demanda eléctrica asociada a la digitalización (Melguizo, Katz y Jung, 2026). Sin embargo, este estudio identifica una curva de Kuznets de la IA verde: a partir de niveles de inversión en IA, las emisiones comienzan a reducirse gracias a una mayor penetración de energías renovables (gráfico 4).

Gráfico 4. Inversión en IA per cápita, adopción de energías renovables y emisiones de CO_2

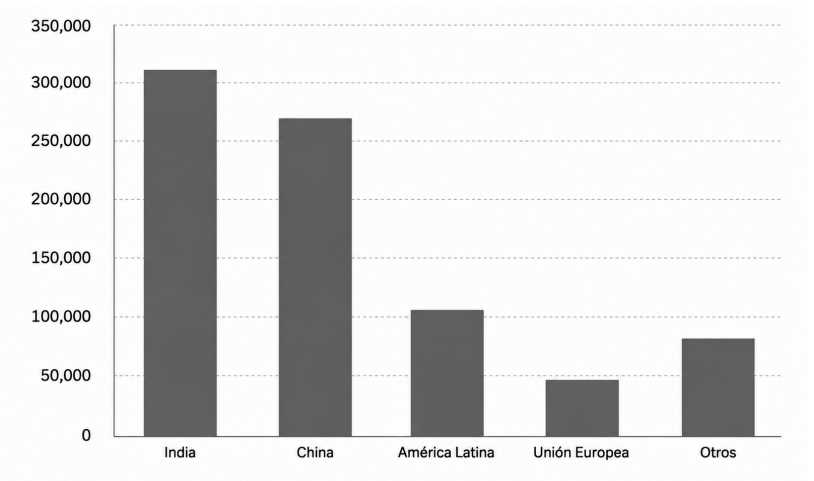


Fuente: Melguizo, Katz y Jung (2026).

No obstante, esta transición no ocurre de forma automática, sino que exige inversiones masivas en infraestructura energética limpia y redes eléctricas, comparables a las realizadas por países como Singapur o Estados Unidos, que han acompañado el despliegue de la IA con grandes programas de expansión de capacidad renovable y modernización del sistema eléctrico (gráfico 5). Para mu-

chas economías de renta media, rango en el que se ubica América Latina y el Caribe, esta doble transformación resultará especialmente exigente, con inversiones anuales superiores a 100 mil millones de dólares (50 veces más que los niveles de inversión actuales). Deben expandir simultáneamente capacidades digitales y energéticas en un contexto de recursos financieros limitados y crecientes presiones fiscales. Precisamente por ello, las decisiones adoptadas durante los próximos años tendrán consecuencias duraderas sobre su posición relativa dentro de la economía digital global.

Gráfico 5. Inversión necesaria para lograr el dividendo verde en IA (millones de dólares)



Fuente: Melguizo y Muñoz (2026a).

La energía nuclear ha regresado

Pocas cuestiones energéticas generan debates tan intensos como la energía nuclear. Durante décadas, la discusión estuvo dominada por preocupaciones relacionadas con la seguridad, la gestión de residuos o los elevados costes de inversión. Al mismo tiempo, la rápida expansión de las energías renovables llevó a muchos observadores a asumir que la energía nuclear desempeñaría un papel cada vez más marginal dentro de los sistemas eléctricos del futuro. Sin embargo, la irrupción de la IA está obligando a revisar parte de estas premisas. La expansión de los centros de datos y de la IA incrementa de forma significativa la demanda de electricidad. Al mismo tiempo, las economías buscan elec-

trificar transporte, industria y edificios para reducir emisiones, lo que intensifica el reto de disponer de cantidades crecientes de energía limpia, fiable y disponible de forma continua. Y, si bien las energías renovables desempeñarán sin duda un papel central en esta transformación, la intermitencia inherente de algunas tecnologías plantea desafíos operativos que se vuelven especialmente relevantes para actividades que requieren funcionamiento permanente. Los centros de datos no pueden interrumpir operaciones cuando disminuye la velocidad del viento o desaparece la radiación solar. Las innovaciones en la transmisión y el almacenamiento no han logrado resolver aún el reto de estabilidad, previsibilidad y capacidad de suministro constante. En este contexto, la energía nuclear vuelve a adquirir atractivo como fuente de generación firme libre de emisiones directas de carbono.

La aparición de pequeños reactores modulares añade otra dimensión a este debate. Aunque todavía deben demostrar plenamente su viabilidad comercial, prometen reducir costes, acortar plazos de construcción y ofrecer mayor flexibilidad operativa. Si estas expectativas se materializan, podrían contribuir a acercar generación eléctrica firme a grandes polos industriales y digitales. Algunas de las mayores empresas tecnológicas del mundo han comenzado a asegurar capacidad nuclear mediante acuerdos a largo plazo o inversiones en nuevas tecnologías. Así como Estados Unidos, Francia, China y otras economías, que están revisando sus estrategias nucleares en paralelo al desarrollo de sus estrategias de IA.

América Latina también observa este proceso con creciente interés. Proyectos como CAREM en Argentina o Angra III en Brasil reflejan que la región mantiene capacidades técnicas e industriales que podrían resultar relevantes en un escenario de renovado protagonismo nuclear (cuadro 3). Naturalmente, persisten interrogantes legítimos sobre costes, regulación, aceptación social y gestión de residuos, pero más allá de las posiciones ideológicas, la discusión ha regresado al centro de la política energética.

Eficiencia y energías renovables son, además de equitativas, un buen negocio

Por todo ello, invertir en ahorros energéticos e impulsar energías renovables no solo es lo correcto y justo con las generaciones venideras, es también una oportunidad y necesidad económica. Con frecuencia, los debates sobre sostenibilidad se presentan como un conflicto entre responsabilidad ambiental y racionalidad económica. Bajo esta perspectiva, reducir emisiones o mejorar la eficiencia energética

Cuadro 3. Iniciativas de energía nuclear en América Latina y el Caribe



Fuente:
Melguizo, A. y V. Muñoz (2026). *El código verde: IA + energía*

implicaría necesariamente asumir costes adicionales que limitarían el crecimiento o la competitividad. Sin embargo, la experiencia acumulada durante las últimas décadas sugiere una interpretación mucho más matizada. En numerosos casos, las mejoras ambientales no constituyen una restricción para el desarrollo económico, sino una fuente adicional de productividad.

La eficiencia energética representa, probablemente, el ejemplo más evidente. Cada unidad de energía que deja de consumirse gracias a una mejor tecnología, un diseño más inteligente o una organización más eficiente libera recursos que pueden destinarse a otros usos productivos. Desde la perspectiva de una empresa, esto se traduce en menores costes operativos. Desde la perspectiva de una economía, implica el uso más eficiente de recursos escasos.

La expansión de energías limpias genera beneficios similares. Una matriz energética diversificada reduce vulnerabilidades asociadas a la volatilidad de precios internacionales, fortalece la seguridad de suministro y disminuye la exposición a riesgos regulatorios futuros. En un contexto caracterizado por crecientes tensiones geopolíticas y una demanda energética en expansión, estas ventajas adquieren una relevancia económica cada vez mayor.

Ello explica por qué los líderes tecnológicos están invirtiendo tanto en estas innovaciones, con una IA que se hace más verde a sí misma. Los algoritmos desarrollados por Google DeepMind optimizan en tiempo real los sistemas de refrigeración de los centros de datos, logrando reducir en torno a un 40% la energía destinada al enfriamiento (Evans y Gao, 2026). Paralelamente, la compañía impulsa una estrategia de operación con electricidad libre de carbono las 24 horas del día, integrando la eficiencia algorítmica con el despliegue de energías renovables para disminuir las emisiones asociadas a la computación. Intel está transformando la eficiencia del hardware mediante nuevas arquitecturas de computación. Su chip neuromórfico Loihi 2, inspirado en el funcionamiento del cerebro humano, es capaz de ejecutar determinadas tareas consumiendo menos de un vatio de potencia, con eficiencias de hasta mil veces superiores a las de chips convencionales en aplicaciones específicas (Intel Labs, 2021). La empresa complementa esta línea con avances en computación óptica y nuevos sistemas de refrigeración, orientados a reducir de forma estructural el consumo energético de la infraestructura digital.

La transparencia constituye el tercer elemento de esta ecuación. A medida que inversores, reguladores y consumidores incorporan cada vez más criterios de sostenibilidad en sus decisiones, la capacidad de medir y comunicar adecuadamente el consumo energético asociado a la IA se convierte en un activo estratégico. Salesforce, en colaboración con Hugging Face, Cohere y la Universidad Carnegie Mellon, ha impulsado la transparencia energética en la IA mediante el *AI Energy Score*, un estándar que clasifica los modelos según la electricidad que consumen para realizar tareas concretas (Luccioni *et al.*, 2025). Este sistema permite comparar objetivamente la eficiencia energética de los modelos y genera incentivos para desarrollar y desplegar arquitecturas más ligeras, con menor consumo eléctrico y, por tanto, una menor huella ambiental.

El agua será el segundo recurso estratégico de la IA

Aunque la atención pública y el foco de este ensayo se han concentrado en el consumo eléctrico, la expansión de la IA está convirtiendo el agua en un factor

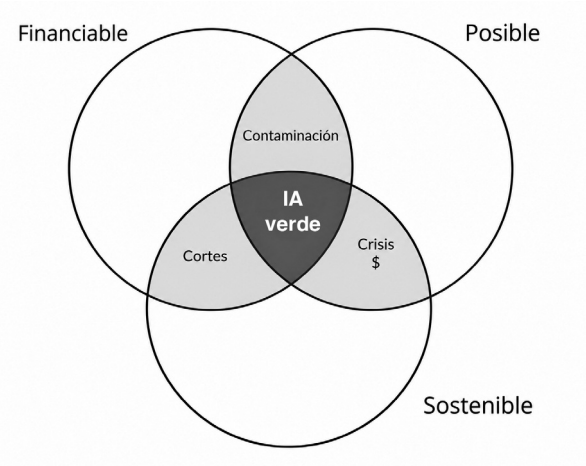
igualmente crítico. Los centros de datos dependen de sistemas de refrigeración que requieren importantes volúmenes de agua para disipar el calor generado por procesadores cada vez más potentes. A medida que aumenta la densidad computacional, también lo hace la presión sobre los recursos hídricos, especialmente en regiones sometidas a estrés hídrico. Esta realidad obliga a replantear la localización de nuevas infraestructuras digitales y a incorporar criterios de disponibilidad de agua junto con el acceso a energía limpia y conectividad. La respuesta no pasa únicamente por consumir menos, sino por innovar en refrigeración líquida de circuito cerrado, reutilización de aguas regeneradas, recuperación de calor residual y diseños de centros de datos que minimicen simultáneamente el consumo energético y el hídrico. Las empresas capaces de reducir su huella hídrica y operar con sistemas de refrigeración más eficientes estarán mejor preparadas para afrontar restricciones regulatorias, menores costes operativos y una creciente demanda de transparencia ambiental. No habrá una IA verdaderamente verde sin una gestión sostenible de ambos recursos.

El escenario de simbiosis IA-energía-medioambiente ilustrado

El escenario de simbiosis parte precisamente de la premisa de que es posible combinar una expansión rápida de la IA con una trayectoria ambiental, financiera y físicamente sostenible. No se trata de una utopía tecnológica ni de una apuesta ingenua por la autorregulación de los mercados, sino del resultado de una combinación de incentivos económicos, innovaciones tecnológicas y políticas públicas convergen para transformar la eficiencia energética en el principal motor de competitividad digital. Esta visión conecta directamente con la tesis central de *El código verde* (Melguizo y Muñoz, 2026a): la IA no debe frenar su desarrollo, pero su carrera debe evolucionar en armonía con los límites físicos del planeta y con una gestión más inteligente de los recursos que la sostienen (buscando desplazarse y ampliar el área gris oscuro del cuadro 4).

En el escenario de simbiosis tecnológica-medioambiental-financiera de la IA, la demanda de servicios continuaría creciendo a tasas elevadas. Millones de nuevas aplicaciones se incorporan a la economía, desde sistemas avanzados de diagnóstico médico hasta plataformas educativas personalizadas, optimización logística, agricultura de precisión y gestión inteligente de infraestructuras. El volumen de inferencias y entrenamiento de modelos sigue aumentando de manera acelerada. Como consecuencia, el consumo eléctrico total de la IA sigue creciendo. Sin embargo, el crecimiento de la demanda computacional no se tra-

Cuadro 4. La carrera de la IA



Fuente: Elaboración propia.

duce automáticamente en un crecimiento proporcional del consumo energético. La razón es que la innovación tecnológica deja de concentrarse exclusivamente en aumentar la capacidad de cálculo y comienza a enfocarse también en reducir la energía requerida para cada unidad de computación.

La experiencia histórica de la industria tecnológica proporciona precedentes sólidos para esta hipótesis. Durante décadas, la capacidad de procesamiento de los semiconductores creció mucho más rápido que su consumo energético gracias a mejoras continuas en diseño, arquitectura y eficiencia. El escenario de simbiosis supone una dinámica similar aplicada al ecosistema completo de la IA. Los avances en hardware especializado, chips neuromórficos, ASIC diseñados específicamente para IA, computación óptica y nuevas arquitecturas de memoria reducen de manera progresiva la intensidad energética de cada operación. Al mismo tiempo, los desarrolladores optimizan modelos, eliminan redundancias computacionales y priorizan arquitecturas más eficientes. La competencia tecnológica deja de medirse exclusivamente por el tamaño de los modelos y comienza a incorporar la eficiencia energética como variable estratégica.

La sostenibilidad física del sistema también mejora porque la infraestructura digital evoluciona de forma diferente a la observada en las primeras etapas de la revolución de la IA. Los centros de datos siguen creciendo, pero su diseño incorpora desde el inicio criterios avanzados de eficiencia. La refrigeración líquida, la reutilización de calor residual, los sistemas de almacenamiento tér-

mico y la optimización dinámica de cargas permiten reducir significativamente el consumo energético asociado a infraestructuras auxiliares. Los nuevos centros dejan de concebirse como simples edificios que alojan servidores y se convierten en nodos energéticos integrados capaces de interactuar con las redes eléctricas, almacenar energía y participar activamente en la gestión de la demanda. Esta transformación es coherente con la visión de una infraestructura digital profundamente física, donde computación y energía forman parte de un mismo sistema industrial.

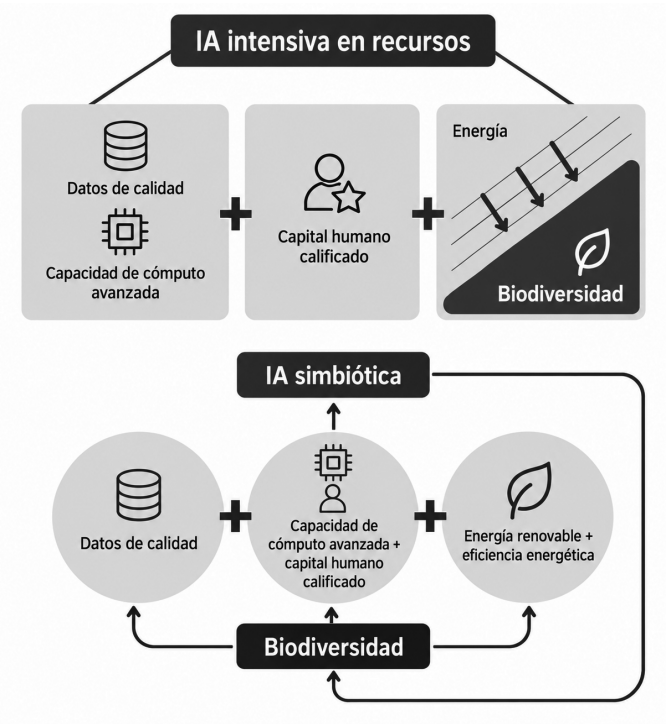
El segundo elemento que define el escenario de simbiosis es la aceleración simultánea de la transición energética. La expansión de la IA incrementa la demanda de electricidad, pero esta nueva demanda se convierte en un catalizador para desplegar energías renovables, almacenamiento energético y nuevas formas de generación limpia. Los operadores de centros de datos encuentran incentivos económicos para localizar infraestructura en regiones con abundancia de energía renovable y costes competitivos. Las inversiones necesarias para alimentar la IA contribuyen indirectamente a ampliar la capacidad energética global, reduciendo restricciones que anteriormente limitaban la electrificación de otros sectores productivos.

La sostenibilidad financiera es igualmente importante. Uno de los riesgos más relevantes de una carrera desordenada por la IA consiste en generar sobreinversiones masivas en capacidad computacional, infraestructuras redundantes o activos energéticos que terminan infrautilizados. En este escenario sostenible las empresas descubren que consumir menos energía por unidad de computación mejora simultáneamente su competitividad y su desempeño ambiental. La eficiencia se transforma en una fuente de ventaja económica duradera. Los mercados financieros también comienzan a valorar de forma creciente la exposición energética de las compañías tecnológicas, premiando aquellas capaces de demostrar menores costes operativos, menor volatilidad y una mejor gestión de riesgos regulatorios asociados al carbono.

Por último, la biodiversidad también desempeña un papel central en esta historia. La sostenibilidad no se limita a reducir emisiones o utilizar energías renovables, sino que incluye igualmente la capacidad de aprender de la naturaleza para diseñar tecnologías más eficientes. Estructuras que imitan organismos vivos, sistemas energéticos inspirados en procesos naturales y diseños que aprovechan millones de años de evolución para resolver problemas de eficiencia tienen un enorme potencial para optimizar la carrera de la IA. La IA, lejos de situarse en oposición a la naturaleza, puede encontrar en ella una fuente per-

manente de aprendizaje tecnológico y de solución a sus retos industriales (véase Lebdioui, 2022 y Lebdioui, Melguizo y Muñoz, 2025 y PNUD, 2025 para una aplicación al ámbito de la IA; cuadro 5).

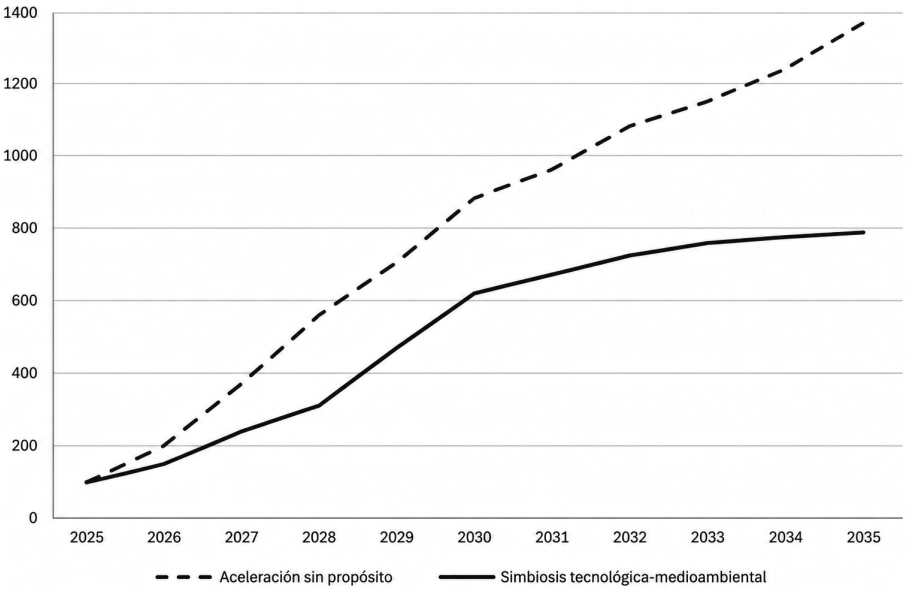
Cuadro 5. Sendas de evolución de la IA



Fuente: Lebdioui, Melguizo y Muñoz (2025). Revisado.

Estos avances en eficiencias, expansión de renovables y mayor equilibrio con el medioambiente no implican ausencia de desafíos. El consumo energético asociado a la IA crecería, en este escenario, de manera notable en términos absolutos, alcanzando como fue expuesto una demanda eléctrica cercana a 785 TWh, equivalente a todo el consumo anual de Japón (gráfico 6). Sin embargo, la diferencia fundamental respecto a otros escenarios es que la trayectoria deja de ser exponencialmente insostenible en lo físico, financiero y medioambiental, y la sostenibilidad se convierte en un factor central de competitividad. Este escenario y los alternativos serán analizados dentro de un modelo macroeconómico formal en el capítulo 2.

Gráfico 6. Consumo de energía por la IA en un escenario de simbiosis tecnológica-medioambiental (electricidad, TWh)



Fuente: Elaboración propia con escenarios del Instituto de Investigación de Sostenibilidad de Schneider Electric.

A modo de cierre, la rápida expansión de la IA ha venido acompañada de una gran cantidad de afirmaciones simplificadas y, en ocasiones, erróneas sobre su relación con la energía y el medioambiente. Algunas minimizan su impacto físico, mientras otras presentan escenarios catastróficos. La realidad es bastante más compleja. Como hemos visto a lo largo de este capítulo, la IA constituye una infraestructura profundamente material, cuyo desarrollo depende de sistemas energéticos, centros de datos, semiconductores, redes de telecomunicaciones y recursos naturales. Al mismo tiempo, ofrece un enorme potencial para mejorar la eficiencia energética y acelerar la transición hacia una economía más sostenible. El cuadro 6 resume algunos de los principales mitos y realidades que ayudan a interpretar con mayor rigor los desafíos energéticos de la revolución de la IA y sirven como punto de partida para los capítulos posteriores, donde analizaremos los posibles escenarios de evolución y las estrategias para construir una IA verdaderamente verde.

Cuadro 6. Mitos y realidades: el consumo energético de la inteligencia artificial

Mito	Realidad
La IA consume poca energía porque todo está en la nube.	La "nube" es una red física de centros de datos que requieren enormes cantidades de energía para procesamiento, refrigeración y transmisión. Solo los centros de datos que entrenan y operan IA podrían consumir hasta el 4% de la electricidad global en 2030 (IEA, 2024).
El consumo energético solo ocurre durante el entrenamiento de los modelos.	El entrenamiento inicial es muy intensivo, pero el uso continuo (inferencia) también demanda energía constante. A medida que se multiplican los usuarios y consultas, la inferencia puede superar el 60% del consumo total de un modelo (Stanford AI Index, 2025).
Los chips de IA son eficientes y no afectan el ambiente.	Los chips especializados (GPU, TPU) son más eficientes por operación, pero su alta densidad y necesidad de refrigeración aumentan el consumo térmico. Un solo clúster de entrenamiento avanzado puede requerir más de 10 MW de potencia, equivalente a una pequeña ciudad.
Usar IA en texto o chat no tiene impacto energético relevante.	Cada interacción con un modelo grande (como ChatGPT o Gemini) implica miles de cálculos por token. Un millón de consultas diarias puede consumir energía equivalente a cientos de hogares durante un día completo.
Toda la energía usada por la IA es sucia.	Grandes proveedores están migrando a energías renovables (solar, eólica, geotérmica) y ubicando centros de datos cerca de fuentes limpias (Brasil, Islandia, Chile, Canadá). Sin embargo, la huella sigue dependiendo del mix eléctrico local y de la eficiencia de los datacenters.
La eficiencia mejora automáticamente con cada nueva generación de chips.	Aunque los chips nuevos mejoran el rendimiento por vatio, la demanda total crece más rápido que la eficiencia, fenómeno conocido como la "paradoja de Jevons digital": más eficiencia → más uso total.
La IA y el cambio climático no tienen relación directa.	Sí la tienen. La IA puede acelerar la transición verde (optimización de redes eléctricas, modelos climáticos, diseño de materiales), pero también aumenta las emisiones indirectas si su infraestructura depende de energía fósil.
El problema es solo de las grandes tecnológicas.	Aunque las big tech concentran los modelos más grandes, la adopción masiva en gobiernos, bancos, salud y educación multiplicará la demanda. El reto no es solo tecnológico, sino de política energética y planificación digital sostenible.
Reducir el tamaño de los modelos reduce proporcionalmente el consumo.	No siempre. Algunos modelos más pequeños requieren reentrenamiento frecuente o replicación en millones de dispositivos, generando un consumo agregado igual o mayor.
No existen métricas para medir el impacto energético de la IA.	Ya existen indicadores como el AI Energy Score o el Power Usage Effectiveness (PUE) de los datacenters, que permiten cuantificar y comparar la eficiencia energética de cada sistema.

Fuente: Melguizo y Muñoz (2026a).

1.2. Energía y crecimiento económico en América Latina y el Caribe: fundamentos e impacto macroeconómico

Energía, productividad y economía digital

La digitalización ha vuelto más estrecha la relación entre electricidad y crecimiento. Como se ha descrito previamente, la inversión en redes, software, servicios en la nube, IA y centros de datos amplía el capital tecnológico de una economía, pero también aumenta la demanda de electricidad necesaria para utilizarlo. La cuestión es a la vez energética y productiva, porque una parte creciente del capital instalado depende de un suministro eléctrico capaz de sostener operaciones continuas, procesamiento de información y servicios digitales.

Para América Latina y el Caribe, esta relación importa especialmente por su vínculo con la productividad. La región necesita elevar la eficiencia con la que utiliza capital y trabajo, después de décadas de bajo crecimiento de la productividad total de los factores. La inversión TIC puede contribuir a ese objetivo porque incorpora capital tecnológico, facilita la reorganización de procesos y permite un uso más intensivo de datos. Se entiende por inversión TIC infraestructuras digitales, software, sistemas de datos y tecnologías asociadas a la automatización y la IA. Los centros de datos son especialmente visibles porque concentran capital tecnológico y demanda eléctrica continua, aunque forman parte de un proceso más amplio de acumulación de capital TIC orientado a modernizar la estructura productiva y elevar la productividad. En una región con baja productividad, esta forma de inversión adquiere valor estratégico. Puede mejorar la organización de la producción, reducir costes de coordinación, facilitar la adopción tecnológica y ampliar el uso de datos. Su efecto potencial sobre el crecimiento procede de esa doble vía: mayor capital tecnológico y mejora de la productividad.

Pero el impulso no es automático. La digitalización, el procesamiento de datos, los servicios en la nube, la IA y los centros de datos elevan la capacidad productiva potencial, pero también aumentan los requerimientos eléctricos de la economía. La electricidad determina qué parte del capital tecnológico puede utilizarse y qué parte queda por debajo de su rendimiento potencial. La electricidad funciona como condición de utilización del capital. Una economía puede invertir en maquinaria, redes digitales, software o centros de datos, pero si no dispone de electricidad suficiente para operarlos, parte de la capacidad productiva queda infrautilizada.

Esta distinción es relevante para una agenda de crecimiento y sostenibilidad. Se debe producir más electricidad y hacerlo con coherencia con una trayectoria de crecimiento sostenible. Una economía digital más intensiva en electricidad puede elevar la productividad, pero exige generación suficiente, redes adecuadas, estabilidad de suministro y una matriz energética compatible con los objetivos ambientales.

El análisis empírico en este apartado parte de una secuencia sencilla. La inversión TIC amplía el capital tecnológico y puede elevar la productividad. La suficiencia eléctrica determina después qué parte de ese capital puede utilizarse efectivamente. La diferencia entre capacidad potencial y capacidad efectiva permite medir el coste macroeconómico de una transformación digital que no dispone de la base eléctrica necesaria.

Función de producción ampliada: capital tecnológico y productividad

Para analizar la relación entre inversión TIC, productividad y crecimiento económico, el punto de partida es la función de producción. Este marco permite representar cómo una economía transforma sus factores productivos en bienes y servicios, y separar los principales canales del crecimiento. Una economía puede crecer porque acumula más capital, porque incorpora más trabajo o porque utiliza de forma más eficiente los factores disponibles. La inversión TIC actúa sobre dos de esos canales: aumenta el capital tecnológico y puede modificar la productividad con la que opera el conjunto del sistema productivo.

La función de producción estándar puede expresarse como:

$$Y_t = f(A_t, K_t, L_t)$$

donde Y_t representa la producción de la economía, medida habitualmente por el PIB; A_t representa la productividad total de los factores; representa el capital utilizado en el proceso de producción, y L_t representa el insumo total de trabajo.

Cada uno de estos elementos recoge una dimensión distinta del crecimiento. El capital incluye los activos duraderos utilizados en la producción, como maquinaria, infraestructuras, equipos e instalaciones productivas. Su acumulación amplía la capacidad de la economía. El trabajo recoge la fuerza laboral empleada, cuya contribución depende del número de trabajadores y de su cualificación. La productividad total de los factores (PTF) mide la eficiencia con la

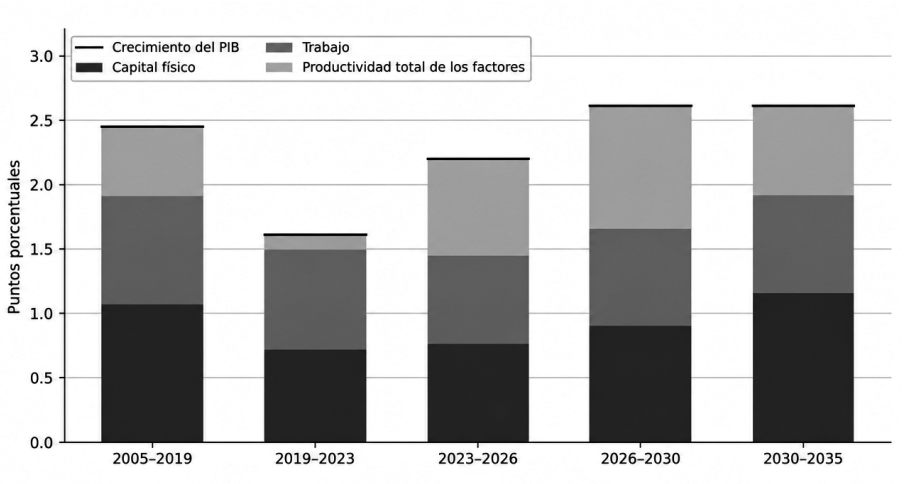
que se combinan capital y trabajo. Cuando aumenta la PTF, la economía puede producir más con una misma dotación de factores.

La productividad ocupa un lugar central en el análisis del crecimiento de largo plazo. En las primeras fases del desarrollo, una economía puede crecer acumulando capital, incorporando trabajadores al mercado laboral o desplazando recursos hacia actividades de mayor productividad. Sin embargo, estos mecanismos tienen límites. La acumulación de capital puede enfrentar rendimientos decrecientes, el crecimiento del empleo depende de factores demográficos e institucionales, y la reasignación sectorial no puede sostener indefinidamente el aumento de la renta. Por ello, a medida que una economía madura, la productividad se convierte en el componente decisivo del crecimiento sostenido. La PTF recoge progreso tecnológico, innovación, mejoras organizativas, difusión de conocimiento y eficiencia en la asignación de recursos. Muchos de estos factores no se observan directamente, lo que aconseja prudencia en su interpretación. La productividad total de los factores debe entenderse como una aproximación a la capacidad de una economía para obtener más producción a partir de los recursos disponibles.

América Latina y el Caribe ha mostrado históricamente dificultades para sostener incrementos elevados y persistentes de productividad. En muchos países de la región, el crecimiento ha descansado más en la acumulación de capital, el aumento del empleo o condiciones externas favorables que en mejoras sostenidas de eficiencia. Esta debilidad explica el interés de analizar la inversión TIC como canal de transformación productiva. Si la digitalización refuerza el capital tecnológico y mejora la eficiencia con la que se utilizan los factores, su impacto puede ser superior al de una inversión en capital físico.

La descomposición del crecimiento de América Latina y el Caribe de los últimos 25 años permite ilustrar esta debilidad. El crecimiento regional ha descansado en buena medida en la acumulación de capital físico y en la contribución del trabajo, mientras que la productividad total de los factores (PTF) aporta menos y de forma más irregular. Estas proyecciones, en línea con las últimas disponibles por el FMI, apuntan a una recuperación gradual del crecimiento, pero también muestran que una trayectoria más dinámica exige reforzar la contribución de la productividad (gráfico 7). Esta lectura justifica diferenciar entre capital físico, capital tecnológico, capital humano y cualificación laboral. El problema de la región no reside únicamente en el volumen de capital que acumula, sino en su composición y en cómo se transmite a la productividad.

Gráfico 7. Descomposición del crecimiento del PIB en América Latina y el Caribe



Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones del modelo ARGIA GT&E.

El capital tampoco debe entenderse como un agregado homogéneo. Una máquina, una infraestructura de transporte, una red digital o un centro de datos son formas distintas de capital. Todas requieren inversión, pero no generan los mismos efectos. Algunas amplían directamente la capacidad física de producción. Otras modifican la organización de la actividad económica, el procesamiento de información y la coordinación de decisiones.

La inversión TIC pertenece a esta segunda categoría. Es capital porque exige recursos presentes para construir capacidad productiva futura. Pero es capital tecnológico porque su principal contribución no consiste solo en añadir activos, sino en ampliar la capacidad de la economía para utilizar información, automatizar tareas, escalar servicios digitales, gestionar datos y adoptar nuevas tecnologías. Esta característica justifica que el modelo diferencie entre capital físico tradicional y capital tecnológico.

Para hacer operativa esta relación y cuantificar la contribución de cada factor al crecimiento, el modelo ARGIA GT&E adopta una especificación tipo Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala. Esta forma funcional combina sencillez analítica, interpretación económica clara y facilidad de aplicación empírica. En lugar de limitarse a afirmar que el producto depende del capital, el trabajo y la productividad, permite asignar un peso a cada factor y calcular su contribución al crecimiento.

En su formulación básica, la función puede expresarse como:

$$Y_t = A_t K_t^{\alpha} L_t^{1-\alpha}$$

donde Y_t representa el producto; A_t , la productividad total de los factores; K_t , el stock de capital; L_t , el empleo o insumo trabajo, y α, la elasticidad del producto respecto al capital. Su complementario, $1 - \alpha$, representa la elasticidad respecto al trabajo.

La interpretación económica es directa. Si aumenta el capital, la producción aumenta en función de la elasticidad . Si aumenta el trabajo, la producción aumenta en función de la elasticidad . Si aumenta la productividad, la economía puede producir más, aun sin aumentar capital ni trabajo. La función permite distinguir entre crecimiento por acumulación de factores y crecimiento por mejora de eficiencia. Esta separación es fundamental en una economía digital, porque muchas de sus ganancias proceden de utilizar mejor los recursos disponibles, no de acumular más activos.

El supuesto de rendimientos constantes a escala implica que las elasticidades del capital y del trabajo suman la unidad. Bajo este supuesto, si una economía duplica simultáneamente capital y trabajo, el producto también se duplica. En un marco competitivo, puede interpretarse como la participación del capital en la renta, lo que facilita su calibración a partir de las cuentas nacionales. Esta propiedad resulta útil en un ejercicio aplicado, porque permite utilizar parámetros observables o razonables sin estimar una tecnología productiva completa para cada país.

La elección de una Cobb-Douglas implica una simplificación. La realidad productiva es más compleja: pueden existir complementariedades específicas entre capital físico y tecnológico, entre capacidades laborales y tecnologías digitales, o entre infraestructura eléctrica y activos intensivos en datos. También pueden variar las elasticidades a medida que una economía se digitaliza. Sin embargo, la Cobb-Douglas ofrece una aproximación adecuada para un ejercicio macroeconómico orientado a identificar canales de impacto y obtener órdenes de magnitud. Su valor no está en capturar todos los detalles tecnológicos, sino en proporcionar una estructura clara para analizar cómo se transmite la inversión al crecimiento.

La función de producción admite, además, una lectura dinámica. Al tomar tasas de variación, el crecimiento del producto puede descomponerse en la suma de las contribuciones del capital y del trabajo, ponderadas por sus elasti-

cidades, y del crecimiento de la productividad total de los factores. Asumiendo la especificación Cobb-Douglas anterior, la contabilidad del crecimiento puede expresarse como:

$$\frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \frac{\Delta A_t}{A_t} + \alpha \frac{\Delta K_t}{K_t} + (1 - \alpha) \frac{\Delta L_t}{L_t}$$

Esta expresión permite atribuir el avance del producto a tres fuentes: acumulación de capital, aumento del trabajo y mejora de la productividad. El crecimiento de la PTF se obtiene de forma residual, una vez descontadas las contribuciones del capital y del trabajo. Ese residuo se conoce como «residuo de Solow» y recoge la parte del crecimiento que no se explica por la simple acumulación de factores.

En el caso de la inversión TIC, este ejercicio de contabilidad del crecimiento ayuda a ordenar el análisis. Una parte del efecto aparece como acumulación de capital tecnológico, a través de infraestructura digital, capacidad de procesamiento y sistemas de información. Otra parte se refleja en la productividad, al mejorar la organización de procesos, reducir costes de coordinación y facilitar la automatización. Por ello, la inversión TIC no puede tratarse como una inversión homogénea más.

La acumulación de capital puede representarse, de forma general, mediante la expresión:

$$K_{t+1} = (1-\delta)K_t + I_t$$

donde K_t representa el stock de capital, δ es la tasa de depreciación e I_t denota la inversión realizada en dicho capital. Esta formulación indica que el capital disponible en el periodo siguiente depende del capital existente que no se deprecia y de la nueva inversión realizada durante el periodo. Este proceso es válido para distintos tipos de capital, aunque su interpretación varía según el activo considerado. El capital físico, la infraestructura y el capital tecnológico no se deprecian al mismo ritmo ni generan el mismo tipo de efectos sobre el crecimiento. La maquinaria puede perder valor por desgaste. La infraestructura suele tener una vida útil más prolongada, aunque requiere mantenimiento. El capital tecnológico puede depreciarse con rapidez por obsolescencia, incluso si físicamente sigue funcionando. Un equipo, un software o una infraestructura digital pueden quedar superados por cambios en la tecnología, los estándares o las necesidades productivas.

El capital humano presenta otra particularidad. Las habilidades también pueden depreciarse. En contextos de rápido cambio tecnológico, la formación

adquirida puede quedar desactualizada si no se renueva (véase Muñoz, Balmaseda y Melguizo, 2025). Por eso, la inversión en capacidades digitales, formación continua y adaptación de la fuerza laboral condiciona el uso productivo del capital tecnológico.

La acumulación de capital es, por tanto, un proceso heterogéneo. No basta con aumentar el volumen agregado de inversión. Es necesario distinguir qué tipo de capital se acumula, qué complementariedades requiere y cómo afecta a la productividad. En el caso de la inversión TIC, esta distinción es especialmente importante. Su impacto sobre el crecimiento depende tanto del aumento del capital tecnológico como de la capacidad de la economía para absorberlo, operarlo y difundirlo.

De forma general, el modelo ARGIA GT&E amplía la función de producción distinguiendo entre capital físico, capital tecnológico, capital humano y composición de la fuerza laboral:

$$K_t = k\left(K_t^f, K_t^T, H_t\right)$$

$$L_t = l(L_t^{nc}, L_t^c)$$

$$A_t = a\left(K_t^T, H_t, \frac{L_t^c}{L_t}\right)$$

donde K_t^f representa el capital físico, incluyendo maquinaria, equipo e infraestructura.

K_t^T representa el capital tecnológico.

H_t representa el capital humano.

L_t^{nc} representa la fuerza laboral no cualificada

y L_t^c representa la mano de obra cualificada[2].

[2] El panel se construye por país para diecinueve economías de América Latina y el Caribe: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana y Uruguay. Estas economías representan en torno al 96% del producto regional en 2024. Las series históricas llegan hasta 2025 y el horizonte de simulación se extiende hasta 2035.

Esta ampliación recoge una idea central[3]. El crecimiento económico depende del volumen agregado de capital y trabajo, de la naturaleza de esos factores y de la forma en que se combinan. La inversión TIC incrementa K_t^T, el capital tecnológico. La formación y la mejora de habilidades elevan H_t y la proporción de trabajo cualificado. La productividad total de los factores depende, a su vez, de la combinación entre tecnología, capital humano y cualificación laboral.

La incorporación del capital tecnológico en la función de producción subraya la importancia de la innovación y de las mejoras tecnológicas en el proceso productivo. En la inversión TIC, esta dimensión es clara. La infraestructura digital, el software, los servicios *cloud*, los sistemas de datos y las tecnologías asociadas a la automatización o la IA amplían la base tecnológica de la economía y pueden elevar la eficiencia con la que empresas, administraciones y sectores productivos utilizan sus recursos. Su papel específico reside en que mejora también el uso de los factores tradicionales, especialmente el capital físico y el trabajo.

El capital humano y la mano de obra cualificada desempeñan un papel complementario. La tecnología no produce automáticamente mejoras de productividad. Requiere trabajadores capaces de adoptarla, operarla, adaptarla e integrarla en procesos productivos. Una economía puede incrementar su dotación de capital tecnológico y obtener un rendimiento limitado si no dispone de capacidades laborales suficientes. Por ello, la función de producción ampliada incorpora la cualificación laboral como insumo productivo y como determinante de la productividad. Esta interacción es especialmente importante en economías basadas en conocimiento. A medida que las actividades productivas se vuelven más intensivas en información, datos y tecnología, aumenta la demanda de trabajadores capaces de operar sistemas complejos, interpretar información y rediseñar procesos. La productividad resultante depende de la combinación entre activos tecnológicos y capacidades humanas.

El capital tecnológico y el capital humano tienen, además, efectos que exceden a la empresa o al sector que realiza la inversión. Una innovación introducida en una actividad puede difundirse hacia otras mediante aprendizaje,

[3] Las series utilizadas para calibrar el modelo proceden del World Economic Outlook del FMI, Penn World Table, Banco Mundial, ILOSTAT y Our World in Data. El PIB real se construye a partir del FMI, anclando el nivel en 2015 y encadenándolo con las tasas de crecimiento real. El capital físico se estima mediante inventario permanente a partir de la inversión y de tasas de depreciación por país de Penn World Table. El capital tecnológico se aproxima mediante el capital de I+D, construido a partir del gasto en investigación y desarrollo del Banco Mundial. El empleo total y cualificado procede de ILOSTAT. Las simulaciones se realizan con el modelo ARGIA GT&E.

movilidad laboral, transmisión de conocimiento o reorganización de procesos. Del mismo modo, la mejora de habilidades en determinados sectores puede elevar la capacidad de absorción tecnológica del conjunto de la economía. En el modelo ARGIA GT&E, estos efectos se reflejan en la dinámica de , que depende del capital tecnológico, del capital humano y de la cualificación de la fuerza laboral.

El potencial de la inversión TIC en América Latina y el Caribe

La función de producción ampliada permite interpretar la inversión TIC como una vía específica de crecimiento. Su impacto procede de dos canales. El primero es la acumulación de capital tecnológico. El segundo opera a través de la productividad, al mejorar la capacidad de empresas, administraciones y sectores productivos para utilizar información, organizar procesos y adoptar nuevas tecnologías.

América Latina y el Caribe ha mostrado durante décadas una combinación poco favorable de bajo crecimiento de la productividad, inversión insuficiente y brechas persistentes de capital humano. El problema de crecimiento de la región no es solo de volumen de inversión, sino también de composición de esa inversión y de capacidades para convertirla en productividad.

La inversión TIC actúa sobre ese margen. En los términos del modelo, supone un aumento del capital tecnológico, K_t^T. Abarca infraestructuras digitales, software, sistemas de datos, automatización, servicios en la nube e IA. Su importancia reside en que modifica la forma en que se produce, se gestiona información y se coordinan decisiones.

El efecto de la inversión digital depende también de su interacción con el capital humano. Una economía puede aumentar su dotación de capital tecnológico y obtener un rendimiento limitado si no dispone de trabajadores capaces de utilizarlo, adaptarlo e integrarlo en procesos productivos. A la inversa, una mejora de las habilidades laborales tendrá un impacto menor si no viene acompañada de activos tecnológicos suficientes. La oportunidad económica surge de la complementariedad entre tecnología y cualificación.

El informe *Habilidades para la economía digital* desarrolla esta complementariedad (Muñoz, Balmaseda y Melguizo, 2025). A partir de una base de datos de empleo, cualificaciones y competencias para una muestra de 16 economías de América Latina y el Caribe, identifica dos brechas relevantes. La primera corresponde a trabajadores con competencias avanzadas, asociadas a capacidades

organizativas, de gestión, comunicación y adaptación productiva. La segunda afecta a trabajadores expertos, más vinculados a competencias técnicas y digitales. El ejercicio estima que la región necesitaría incorporar aproximadamente 35,4 millones de trabajadores adicionales con competencias avanzadas y 4,8 millones con competencias técnicas para responder a las necesidades de una economía más digitalizada.

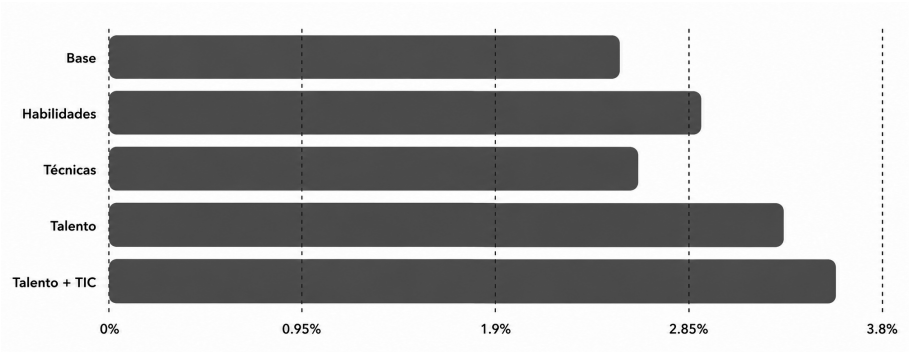
Estas cifras son importantes porque muestran que la transformación digital no es solo una cuestión de infraestructura. La digitalización de procesos, la automatización, la IA o el uso intensivo de datos requieren una base laboral capaz de operar sistemas complejos, interpretar información y reorganizar procesos. Las competencias digitales básicas son necesarias, pero no suficientes. La economía digital exige también perfiles avanzados y expertos que permitan transformar la inversión tecnológica en productividad.

El informe simula distintos escenarios de cualificación e inversión tecnológica para el periodo 2026-2030. El escenario base proyecta un crecimiento anual del PIB del 2,50%. El cierre de brechas de habilidades estratégicas eleva esa tasa al 2,91%. El cierre aislado de competencias técnicas la sitúa en el 2,59%. La combinación de perfiles avanzados y expertos, recogida en el escenario de talento complementario, aumenta el crecimiento hasta el 3,31%. Finalmente, cuando esa mejora de cualificación se acompaña de una inversión adicional en capital tecnológico, el crecimiento alcanza el 3,57% anual (gráfico 8).

Los resultados muestran, en primer lugar, que las estrategias parciales tienen efectos positivos, pero limitados. El cierre de brechas de habilidades estratégicas mejora el crecimiento respecto al escenario base, mientras que el cierre aislado de competencias técnicas produce un avance más reducido. Esto sugiere que la transformación digital requiere capacidades organizativas, de gestión y adaptación que permitan incorporar la tecnología al funcionamiento ordinario de las empresas y de las administraciones, y no solo perfiles técnicos.

En segundo lugar, la complementariedad entre tipos de capacidades importa. El escenario de *talento complementario* obtiene un resultado claramente superior al de los escenarios parciales. En términos económicos, esto significa que los trabajadores expertos y los trabajadores avanzados no son sustitutos perfectos. Los primeros aportan conocimiento técnico; los segundos facilitan la integración de ese conocimiento en procesos, equipos y organizaciones. La productividad aumenta más cuando ambos perfiles se desarrollan de forma conjunta.

Gráfico 8. Escenarios de crecimiento económico en América Latina y el Caribe, 2026-2030



Fuente: Muñoz, Balmaseda y Melguizo (2025).

El resultado central para este capítulo aparece en el escenario de talento y tecnología. En ese caso, el crecimiento anual del PIB se eleva hasta el 3,57%, frente al 2,50% del escenario base. La productividad total de los factores pasa, según la descomposición del ejercicio, del 0,86% al 1,94%. La diferencia procede de una mayor acumulación de factores productivos y, sobre todo, de una mejora en la eficiencia con la que esos factores se utilizan.

El resultado encaja con la función de producción ampliada. La inversión TIC aumenta el capital tecnológico, K_t^T. La capacitación digital y la mejora de habilidades elevan el capital humano, H_t, y la proporción de trabajo cualificado, L_t^c/L_t. La interacción entre ambos elementos incide sobre A_t, la productividad total de los factores. La digitalización opera así como una vía transversal de modernización productiva.

El informe *Digitales, verdes y aliados* refuerza esta interpretación desde una perspectiva complementaria (Aguilar, Balmaseda, Melguizo y Muñoz, 2023). América Latina y el Caribe necesita elevar la productividad para sostener una trayectoria de crecimiento más dinámica, y para ello debe aumentar la inversión en capital físico, tecnológico y humano. El informe subraya también la importancia de la escala, la continuidad y la complementariedad. Las intervenciones de alcance limitado tienden a tener efectos acotados, mientras que una estrategia de mayor dimensión, con participación privada, orientación tecnológica, regulación adecuada y capacitación laboral, puede incidir con más fuerza sobre la productividad agregada. La región parte de déficits significativos de inversión tecnológica. El capital digital y las habilidades se acumulan gradualmente, y la

tecnología no genera aumentos persistentes de productividad si no existe capital humano suficiente para utilizarla.

Conviene, sin embargo, interpretar estos resultados con prudencia. Los escenarios descritos reflejan el potencial bajo determinados supuestos. Muestran lo que podría ocurrir si la región elevara la inversión tecnológica, cerrara brechas de cualificación y mejorara su capacidad de absorción productiva. La materialización de ese potencial requiere inversión privada, políticas públicas consistentes, marcos regulatorios previsibles y una coordinación institucional capaz de sostener proyectos de largo plazo.

Además, esta oportunidad tecnológica introduce una exigencia material que el presente informe incorpora en el análisis. La inversión TIC aumenta el capital tecnológico, pero también eleva la demanda de electricidad. Los centros de datos, la IA, la computación en la nube y los sistemas de procesamiento de información requieren suministro continuo, estable y competitivo. Por tanto, el crecimiento potencial asociado a la inversión digital depende de la disponibilidad de capital tecnológico, trabajo cualificado y un sistema eléctrico capaz de sostener el nuevo patrón de demanda.

Suficiencia eléctrica y utilización efectiva del capital tecnológico

La inversión TIC aumenta el capital tecnológico disponible, amplía la capacidad de procesar información y puede elevar la productividad. Pero ese potencial no se convierte automáticamente en crecimiento efectivo, dado que la inversión digital eleva también la demanda de electricidad. Si el sistema eléctrico no acompaña ese aumento, una parte de la capacidad instalada queda infrautilizada.

La cuestión relevante es qué parte del capital tecnológico acumulado por América Latina y el Caribe puede operar de forma efectiva. Los activos vinculados al procesamiento de datos, la IA, los servicios en la nube y los centros de datos requieren continuidad y calidad de suministro. Sin esa base material, el capital está instalado, pero no se transforma plenamente en producción.

La electricidad no se incorpora, por tanto, como un factor de producción ordinario equivalente al capital o al trabajo, sino como una condición de utilización de los factores productivos. Con un suministro suficiente, el capital físico y tecnológico opera con normalidad, mientras que un suministro insuficiente deja ociosa una parte de la capacidad instalada, aunque el capital se haya adquirido y el trabajo esté disponible. La restricción eléctrica no reduce necesariamente el stock de capital, pero sí la fracción de ese stock que puede utilizarse.

Para formalizar esta relación se define un índice de suficiencia eléctrica, , acotado entre cero y uno:

$$S_t = \min\left(1, \frac{E_t^{disp}}{E_t^*}\right)$$

donde E_t^{disp} representa la electricidad efectivamente disponible para usos productivos en el momento t y E_t^* la electricidad requerida en condiciones normales de operación en este mismo momento. Cuando $S_t = 1$, la electricidad disponible es suficiente para utilizar plenamente el capital instalado. Cuando $S_t < 1$, la economía enfrenta una restricción eléctrica que reduce la utilización efectiva del capital.

La electricidad disponible se mide por el lado de la oferta. Se aproxima como la generación propia más las importaciones netas, descontadas las pérdidas de transmisión y distribución:

$$E_t^{disp} = (G_t + M_t - X_t)(1 - \lambda_t)$$

donde G_t representa la generación eléctrica, $M_t - X_t$ las importaciones netas de electricidad y λ_t aproxima la tasa de pérdidas de transmisión y distribución. Se utiliza la oferta disponible, y no el consumo observado, porque el consumo ya incorpora la restricción que se pretende medir. En un episodio de racionamiento o insuficiencia, el consumo cae precisamente porque la oferta no alcanza. Utilizarlo como medida de suficiencia ocultaría el déficit.

El denominador, E_t^*, representa la electricidad necesaria para sostener el uso pleno de la capacidad productiva instalada. Esta magnitud no se observa directamente y debe estimarse. En el modelo se aproxima a partir de la relación histórica entre consumo eléctrico y actividad económica en periodos sin indicios de restricción eléctrica significativa[4]. De este modo, E_t^* recoge la demanda eléctrica que cabría esperar dado el nivel de actividad y la estructura productiva de la economía, antes de que una posible restricción de oferta reduzca el consumo observado.

Por todo ello, el índice S_t mide no solo cuánta electricidad consume la economía, sino también si la electricidad disponible permite utilizar plenamente

[4] Las variables eléctricas se construyen por país. La generación eléctrica y las importaciones netas proceden de *Our World in Data*, con datos originales de Ember y, para generación histórica anterior a 2000, del *Energy Institute Statistical Review of World Energy*. Las pérdidas de transmisión y distribución proceden del Banco Mundial.

su capacidad productiva[5]. Un aumento del consumo eléctrico puede reflejar mayor actividad, electrificación o expansión tecnológica. La pregunta relevante para el modelo es si el suministro disponible alcanza para sostener el uso pleno del capital físico y tecnológico.

La insuficiencia eléctrica afecta al producto a través de dos canales. El primero opera sobre el capital físico, pues muchas actividades productivas dependen de la continuidad del suministro para operar maquinaria, instalaciones, transporte, refrigeración o servicios esenciales, de modo que un déficit eléctrico reduce su utilización efectiva. El segundo opera sobre el capital tecnológico, particularmente relevante en una economía digital, porque los activos intensivos en datos y computación son más sensibles a la fiabilidad, la continuidad y la calidad del suministro.

La relación puede expresarse distinguiendo el capital físico instalado, K_t^f, del capital físico efectivamente utilizable, $\widetilde{K}_t^f$:

$$\widetilde{K}_t^f = S_t^{\theta_f} K_t^f$$

donde θ_f mide la sensibilidad del capital físico a la suficiencia eléctrica. Si $S_t = 1$, el capital físico efectivo coincide con el capital físico instalado. Si $S_t < 1$, el capital físico efectivo se reduce. Cuanto mayor sea θ_f mayor será la pérdida de utilización asociada a una misma insuficiencia eléctrica.

La misma lógica se aplica al capital tecnológico, aunque con una sensibilidad potencialmente mayor:

$$\widetilde{K}_t^T = S_t^{\theta_T} K_t^T$$

donde K_t^T representa el capital tecnológico instalado, $\widetilde{K}_t^T$ el capital tecnológico efectivamente utilizable y θ_T su sensibilidad a la suficiencia eléctrica.

La hipótesis económica natural es que:

$$\theta_T > \theta_f$$

Una parte del capital físico tradicional puede operar con cierta flexibilidad ante interrupciones o restricciones temporales, aunque lo haga con costes y pérdidas de eficiencia. El capital tecnológico asociado a datos, computación en la nube, IA o centros de datos requiere continuidad, redundancia, refrigeración y esta-

[5] El índice aproxima la suficiencia agregada de suministro. No mide directamente la fiabilidad, la calidad del servicio ni los cuellos de botella locales de red, que pueden ser especialmente relevantes para centros de datos y otros activos intensivos en electricidad continua.

bilidad de red. Una interrupción eléctrica puede reducir su productividad e impedir directamente la prestación del servicio. Por ello, una misma insuficiencia eléctrica puede tener un efecto mayor sobre el capital tecnológico que sobre el capital físico promedio.

Esta formulación permite integrar la suficiencia eléctrica en la función de producción en términos de capital físico efectivo:

$$Y_t = A_t(\widetilde{K}_t^f)^{\alpha} L_t^{1-\alpha}$$

donde el producto depende de la productividad total de los factores, del capital físico efectivamente utilizable y del trabajo. A su vez, la productividad puede depender del capital tecnológico efectivo y del trabajo cualificado:

$$A_t = a_t(\widetilde{K}_t^T)^{\beta}(L_t^c)^{\gamma}$$

donde a_t recoge los determinantes de la productividad no capturados directamente por el capital tecnológico efectivo ni por el trabajo cualificado; β mide la elasticidad de la productividad respecto al capital tecnológico efectivo, y mide la elasticidad de la productividad respecto al trabajo cualificado.

Sustituyendo las expresiones de capital efectivo en ambas ecuaciones, se obtiene:

$$Y_t = a_t(S_t^{\theta_T} K_t^T)^{\beta}(L_t^c)^{\gamma}(S_t^{\theta_f} K_t^f)^{\alpha} L_t^{1-\alpha}$$

y, agrupando términos:

$$Y_t = a_t(K_t^T)^{\beta}(L_t^c)^{\gamma}(K_t^f)^{\alpha} L_t^{1-\alpha} S_t^{\alpha\theta_f + \beta\theta_T}$$

Esta expresión resume el papel macroeconómico de la electricidad. El producto depende del capital físico, del capital tecnológico, del trabajo total, del trabajo cualificado y de la suficiencia eléctrica. La electricidad opera como condición de utilización efectiva del capital productivo. Cuando $S_t = 1$, la economía puede utilizar plenamente su capital instalado. Cuando $S_t < 1$, el producto se reduce respecto a su nivel potencial.

El exponente de la suficiencia eléctrica puede escribirse como:

$$\eta = \alpha\theta_f + \beta\theta_T$$

η no representa el peso directo de la electricidad, sino la sensibilidad del producto a la insuficiencia de suministro mediante el capital efectivo.

Una economía más intensiva en capital digital, datos, computación o centros de datos tendrá, previsiblemente, una mayor sensibilidad a la restricción eléctrica[6].

La diferencia entre crecimiento potencial y crecimiento efectivo se deriva de esta formulación. El crecimiento potencial es el que se obtiene cuando la inversión TIC aumenta el capital tecnológico y la suficiencia eléctrica no impone restricciones. En ese caso, $S_t = 1$, y el impulso tecnológico se transmite plenamente al producto. El crecimiento efectivo es el que se observa cuando la electricidad disponible no alcanza para sostener la nueva demanda. En ese caso, $S_t < 1$, y una parte del capital tecnológico queda inmovilizada o infrautilizada.

El concepto de *cobertura eléctrica* traslada esta lógica a los escenarios de simulación. La cobertura mide la fracción de la nueva demanda eléctrica asociada a la inversión tecnológica que cuenta con respaldo de generación adicional. Si la cobertura es plena, la nueva capacidad tecnológica puede operar y el impulso al crecimiento se capta en su totalidad. Si la cobertura es parcial, solo una parte del impulso se materializa. Si no hay cobertura adicional, la contribución de la nueva capacidad tecnológica queda limitada por la restricción eléctrica.

El despliegue de centros de datos ilustra esta relación. Forman parte del capital tecnológico y pueden elevar la productividad y el crecimiento potencial, pero también generan una demanda eléctrica intensa y continua, por lo expuesto en el apartado 1.1. Si la generación y la red acompañan su despliegue, la región capta el impulso asociado a la nueva capacidad tecnológica. Si no lo hacen, aumenta la brecha entre capital instalado y capital efectivo. El crecimiento desaprovechado corresponde a la parte del impulso tecnológico que no llega a materializarse por falta de electricidad suficiente.

Crecimiento potencial y coste de la restricción eléctrica. América Latina y el Caribe ante la oportunidad de los centros de datos verdes

La expansión de la IA, la computación en la nube, el almacenamiento de información y los servicios intensivos en datos está elevando de forma estructural la demanda mundial de centros de datos. Esa capacidad de procesamiento buscará también localizaciones fuera de las economías avanzadas, en regiones con

[6] Los parámetros de sensibilidad se calibran en el modelo ARGIA GT&E a partir de episodios históricos de restricción eléctrica y de la mayor sensibilidad esperada del capital tecnológico frente al capital físico.

disponibilidad de suelo, conectividad, seguridad de suministro, costes competitivos y electricidad de origen sostenible. La magnitud del fenómeno ya empieza a ser visible en la región. Según las estimaciones utilizadas por OLADE (2025), América Latina y el Caribe contaba en 2023 con más de 450 centros de datos dedicados a aplicaciones de IA con un consumo próximo al 1,6% del consumo eléctrico regional.

América Latina y el Caribe reúne condiciones para ocupar una posición relevante en esa infraestructura digital. La región cuenta con recursos naturales abundantes, potencial renovable, disponibilidad territorial y cercanía a grandes mercados digitales. Esa dotación puede convertirse en una ventaja comparativa si permite desarrollar centros de datos verdes, apoyados en electricidad disponible, trazable y compatible con los objetivos de descarbonización de los grandes operadores tecnológicos.

En términos del modelo, la inversión en infraestructura digital, computación, sistemas de IA y centros de datos aumenta el capital tecnológico. Su despliegue aumenta K_t^T, amplía la capacidad de procesamiento y puede elevar la productividad total de los factores. Al mismo tiempo, introduce una demanda eléctrica adicional que debe ser cubierta para que ese capital opere plenamente. La simulación mide esta relación entre oportunidad tecnológica y condición eléctrica.

El ejercicio macroeconómico de relación entre crecimiento, electricidad y digitalización se construye a partir de un escenario base y dos escenarios de despliegue de centros de datos (cuadro 7).

El escenario base recoge una evolución tendencial del capital tecnológico y supone que la generación eléctrica acompaña la demanda prevista de la economía. En esa referencia, la suficiencia eléctrica no impone restricciones adicionales y el crecimiento anual del producto se sitúa en el 2,57% en el tramo final del horizonte de simulación. El primer escenario de *despliegue tecnológico* sigue una senda compatible con la proyección regional de la Organización Latinoamericana y Caribeña de Energía (OLACDE, 2025). Bajo este supuesto, la demanda eléctrica de los centros de datos alcanzaría alrededor del 5% del consumo eléctrico de América Latina y el Caribe en 2035, equivalente a unos 120 TWh anuales. Es una expansión significativa de la infraestructura digital, compatible con un desarrollo gradual de la demanda asociada a servicios en la nube, IA, almacenamiento y procesamiento de información.

El segundo escenario, que denominaremos *Green AI Valley*, representa una hipótesis de mayor escala en la que América Latina y el Caribe se consolida

como un *hub* tecnológico global. La región capta una participación equivalente al 25% de la demanda mundial de electricidad asociada a datos, computación y servicios digitales avanzados, unos 300 TWh anuales en 2035. La ganancia potencial de crecimiento es mucho mayor, y también lo es la exigencia eléctrica.

En estos escenarios la restricción eléctrica no se fija de forma externa, sino que emerge del balance entre oferta y demanda. La demanda eléctrica de la economía crece a su ritmo tendencial, en torno al 2% anual, mientras la capacidad de generación se amplía algo más deprisa. Esa diferencia abre un excedente disponible para la nueva inversión tecnológica, que pasa de unos 8 TWh en 2025 a alrededor de 115 TWh en 2035. La nueva capacidad tecnológica rinde en la medida en que cabe en ese excedente; la demanda que lo rebasa queda sin electricidad y el capital asociado no se convierte en capital tecnológico efectivo[7].

El escenario de despliegue tecnológico cabe dentro del excedente disponible y no encuentra una restricción efectiva: la generación tendencial acompaña su demanda. La restricción se examina, por tanto, en el escenario más exigente, Green AI Valley, comparando dos estados. Sin restricción, la generación acompaña por completo la nueva demanda y el impulso tecnológico se capta en su totalidad: es el impulso pleno. Con restricción, la nueva demanda solo dispone del excedente eléctrico efectivamente disponible, y la parte no cubierta queda sin utilización efectiva.

Cuadro 7. Escenarios de despliegue de capital tecnológico y suficiencia eléctrica en América Latina y El Caribe

Escenario	Demanda eléctrica adicional en 2035	Hipótesis tecnológica	Suficiencia eléctrica
Base	—	Evolución tendencial del capital tecnológico	La generación acompaña la demanda de la economía
Despliegue tecnológico	120 TWh (5% del consumo regional)	Proyección OLACDE; expansión gradual	Se agota el excedente existente (2035)
Green AI Valley	300 TWh (25% de la demanda mundial de centros de datos)	*Hub* tecnológico global; despliegue acelerado	La demanda rebasa el excedente (2031)

Fuente: Elaboración propia.

[7] El excedente se estima con datos de Ember y OWID. La capacidad instalada de la región, en torno a 545 GW en 2024 frente a un pico de demanda cercano a 233 GW, crece por encima de la demanda eléctrica, que aumentó a un ritmo del 1,96% anual entre 2015 y 2024, por debajo del PIB (elasticidad demanda-PIB del orden de 0,76). La diferencia entre el crecimiento de la oferta, en torno al 2,5% anual, y el de la demanda tendencial abre el excedente disponible para nuevos usos.

La magnitud de estos escenarios puede expresarse también en términos de inversión. Con los costes actuales de infraestructura digital y energética, el escenario de despliegue tecnológico, que lleva la demanda eléctrica del capital tecnológico a 120 TWh en 2035, requeriría del orden de 574 mil millones de dólares de stock tecnológico (280 mil millones adicionales sobre el escenario base) y 67 mil millones en generación y redes eléctricas (apenas 3 mil millones adicionales), acumulados entre 2026 y 2035. En Green AI Valley, con una demanda de 300 TWh, esas cifras se elevarían a 1.024 y 175 mil millones de dólares; 730 y 111 mil millones adicionales sobre el escenario base[8].

Estas cifras deben interpretarse como órdenes de magnitud y no como previsiones, dado que dependen, entre otros factores, del tipo de centro de datos, de la evolución del coste del hardware, del mix de generación y de las necesidades de transmisión, almacenamiento y respaldo. Con todo, ilustran la complementariedad central del ejercicio: la expansión de la capacidad tecnológica requiere una inversión paralela en infraestructura eléctrica que garantice su utilización efectiva. La ambición de convertir a América Latina y el Caribe en un *hub* global de IA es, por tanto, simultáneamente una agenda de inversión digital y energética.

Estas proyecciones deben interpretarse, además, con dos cautelas adicionales. Primero, la coordinación necesaria no es únicamente financiera, sino también temporal y física. Mientras que un centro de datos puede construirse en aproximadamente dos años, una nueva línea de transmisión puede requerir hasta ocho años entre planificación, permisos y construcción. Por ello, incluso cuando exista capacidad de generación suficiente, el cuello de botella puede encontrarse en las redes, la conexión y la transmisión, haciendo necesario anticipar la infraestructura eléctrica respecto del despliegue digital.

Segundo, la disponibilidad eléctrica no es plenamente fungible dentro de América Latina y el Caribe. La capacidad regional instalada —en torno a 545 GW— está distribuida entre sistemas eléctricos nacionales que siguen teniendo una interconexión limitada. La existencia de capacidad disponible en Brasil, por ejemplo, no permite atender automáticamente nueva demanda tecnológica en Chile. El ejercicio agregado supone implícitamente una capacidad suficiente de interconexión y transmisión para movilizar la electricidad hacia los nuevos polos de demanda. Por tanto, los resultados deben entenderse como una estimación del potencial regional bajo una mayor integración

[8] Estas proyecciones de despliegue tecnológico se pueden considerar cautas. PWC (2026) simula inversiones en centros de datos en la región en un rango de 1.360 a 2.030 millones de dólares para el periodo 2026-2035.

Cuadro 8. Impacto sobre el PIB en 2035 según escenario y suficiencia eléctrica de América Latina y El Caribe

Escenario	Demanda eléctrica adicional 2035	Impacto sobre el PIB en 2035	Crecimiento anual del PIB
Base	—	—	2,57%
Despliegue tecnológico	120 TWh	7,6%	3,32%
Green AI Valley (sin restricción)	300 TWh	15,4%	4,05%
Green AI Valley (con restricción)	300 TWh	7,6%	3,32%

Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones del modelo ARGIA GT&E.

eléctrica; en ausencia de ella, las restricciones pueden aparecer antes y ser más intensas.

Escenario despliegue tecnológico: expansión gradual y sostenible

En este escenario la demanda eléctrica adicional de la inversión tecnológica alcanzaría unos 120 TWh en 2035, alrededor del 5% del consumo eléctrico regional. Es una expansión relevante de la infraestructura tecnológica, con más capacidad de cómputo, almacenamiento y procesamiento de información. Esa senda cabe dentro del excedente eléctrico disponible durante todo el horizonte: la demanda solo alcanza el límite del excedente en 2035, de modo que el despliegue es, en la práctica, sostenible.

El impulso tecnológico se capta en su totalidad (cuadro 8). El despliegue eleva el PIB de 2035 un 7,6% respecto al escenario base y el crecimiento anual del producto pasa del 2,57% al 3,32%. Como la demanda de 120 TWh cabe en el excedente eléctrico disponible durante todo el horizonte, todo el capital tecnológico se utiliza efectivamente: la senda *despliegue tecnológico* es asumible y su contribución al crecimiento se materializa. La diferencia procede del aumento del capital tecnológico y de su efecto sobre la productividad, no de una expansión del capital físico o del empleo.

Una demanda eléctrica adicional de 120 TWh refleja algo más que un aumento del consumo energético. Está asociada a una inversión tecnológica que amplía la capacidad de procesamiento, almacenamiento y uso de datos de la economía. La electricidad permite que ese capital tecnológico se convierta en producción efectiva. El resultado ilustra el caso favorable. Una expansión gradual, compatible con la ampliación tendencial del sistema eléctrico, permite

que el capital tecnológico opere y que el impulso se materialice sin apenas pérdidas. La suficiencia eléctrica no actúa como restricción efectiva porque la demanda adicional cabe en el excedente disponible.

El único tramo no cubierto aparece al final del horizonte, cuando la demanda de 120 TWh alcanza el excedente disponible en 2035. A partir de ese punto, sostener el crecimiento del despliegue exigiría generación adicional.

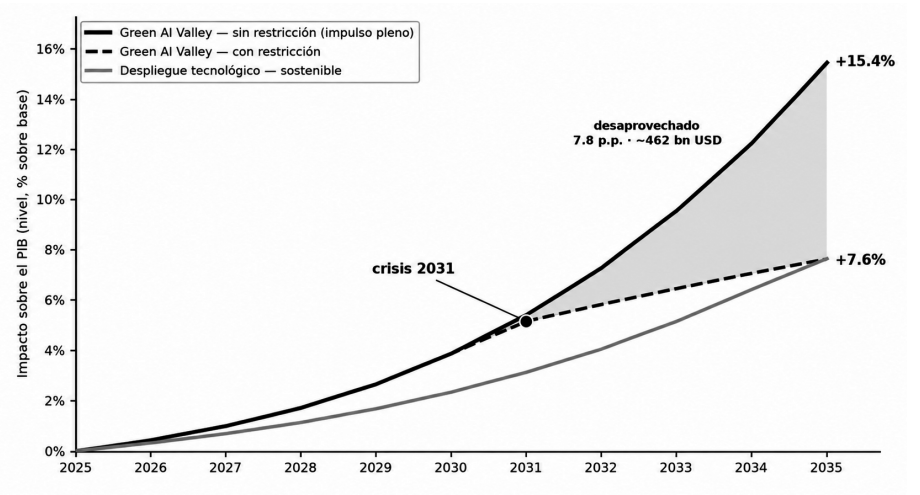
Escenario Green AI Valley: mayor potencial y restricción eléctrica

El escenario Green AI Valley amplía la escala del ejercicio. América Latina y el Caribe se consolida como un *hub* tecnológico global y capta una participación equivalente al 25% de la demanda mundial de electricidad asociada al capital tecnológico avanzado, unos 300 TWh anuales en 2035. La región se situaría como un nodo global para la localización de capacidad de procesamiento, computación y servicios intensivos en información de empresas latinoamericanas, pero también de Estados Unidos, China, Europa y países del Golfo, con un despliegue acelerado en la segunda mitad de la década.

Sin restricción eléctrica, el impacto macroeconómico es muy superior a los escenarios previos. El PIB de 2035 se situaría un 15,4% por encima del escenario base y el crecimiento anual alcanzaría el 4,05%, frente al 2,57% de la referencia. La diferencia refleja la mayor escala de la inversión tecnológica y su efecto sobre la productividad: más capital tecnológico efectivo y una mayor capacidad para participar en actividades intensivas en datos.

Estas estimaciones son consistentes con la evidencia empírica disponible sobre el impacto macroeconómico de la infraestructura de datos. En particular, Katz y Jung (2025) desarrollan un modelo econométrico que considera conjuntamente los tres componentes esenciales de dicha infraestructura —las regiones de nube pública (*cloud regions*), los centros de datos y los servidores—, y estiman su contribución al crecimiento económico. Sus resultados muestran que el despliegue de una nueva región *cloud* incrementa el PIB en un 1,024%; un nuevo centro de datos, en un 0,088%; y cada 10.000 servidores adicionales, en un 0,041%. Además, estos activos generan efectos positivos sobre la innovación, los salarios y el empleo, lo que confirma que la expansión de la infraestructura digital constituye un motor de crecimiento más allá de la inversión directa. El escenario Green AI Valley es coherente con esta evidencia, aunque la proyecta hacia una escala superior al incorporar la aceleración de la demanda de IA y la especialización de América Latina y el Caribe como *hub* global de computación alimentado por energía limpia.

Gráfico 9. Impacto de la inversión en capital tecnológico de América Latina y el Caribesobre el PIB de 2035: impulso pleno y efectivo con restricción eléctrica



Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones del modelo ARGIA GT&E.

Un despliegue asociado a 300 TWh no puede descansar en capacidad ociosa ni en ampliaciones marginales del sistema. Su demanda se dispara pronto, hacia el final de la década, y rebasa el excedente eléctrico disponible en 2031. A partir de ese año, la nueva capacidad tecnológica no encuentra generación adicional y el despliegue topa con la restricción eléctrica: parte del capital tecnológico queda instalada, pero sin electricidad para operar[9].

Con restricción eléctrica, el impacto se reduce con fuerza. El capital tecnológico que supera el excedente no rinde. El PIB de 2035 baja del 15,4% al 7,6% respecto al base y el crecimiento anual pasa del 4,05% al 3,32%. La restricción deja sin captar 7,8 puntos porcentuales de PIB y paraliza unos 185 TWh de demanda, equivalentes a un capital tecnológico instalado que no llega a operar y de una magnitud que asciende a cientos de miles de millones de dólares. Pese a su ambición, Green AI Valley acaba en el mismo impulso efectivo que el previo de despliegue.

El excedente eléctrico actúa como techo. Ambos escenarios se topan con el mismo margen, del orden de 115 TWh de demanda tecnológica alimentable

[9] Este escenario de restricciones físicas es consistente con los expuestos por R. Paccou y F. Wijnhoven (2024), y Jackson (2025) para el caso de EE.UU.

en 2035, y por eso convergen en el mismo impacto efectivo. Más allá de la electricidad que el sistema puede poner a disposición, la inversión tecnológica adicional no se traduce en crecimiento, sino en capital inmovilizado.

El gráfico 9 resume el impacto de ambos escenarios sobre el nivel del PIB de 2035. La senda gradual del escenario de despliegue tecnológico capta su impulso íntegro, un 7,6%, porque su demanda cabe en el excedente disponible. La materialización del escenario Green AI Valley, en cambio, depende de la electricidad: sin restricción alcanzaría un 15,4%, pero con restricción el capital que supera el excedente queda inmovilizado y el impacto efectivo cae al 7,6%, el mismo que el escenario previo, a pesar de la inversión TIC acelerada. La brecha entre ambos estados, 7,8 puntos de PIB, es el coste de no acompañar el despliegue con generación de electricidad.

Productividad, capital tecnológico y electricidad en América Latina y el Caribe: resumen de escenarios

En conclusión, la descomposición del crecimiento precisa el canal por el que la inversión tecnológica afecta al producto. El aumento del PIB no procede de una expansión del empleo ni del capital físico tradicional, que se mantienen próximos a la senda del escenario base. La diferencia aparece en el capital tecnológico y en su efecto sobre la productividad total de los factores.

La inversión tecnológica aumenta el capital tecnológico, K_t^T , que amplía la capacidad de procesamiento, almacenamiento y uso de información de la economía. Cuando dispone de electricidad, ese capital opera plenamente y su efecto se transmite a la productividad total de los factores, A_t. Cuando la demanda rebasa el excedente disponible, una parte queda infrautilizada, varada, y su contribución a la productividad se reduce.

Las tasas de crecimiento reflejan esa transmisión. La senda de despliegue eleva el crecimiento anual al 3,32%, frente al 2,57% de referencia, y lo sostiene porque su demanda cabe en el excedente. En el escenario Green AI Valley alcanzaría un 4,05% si la generación acompañara, pero ese ritmo exige una electricidad que el sistema no pone a disposición. La diferencia procede del mayor capital tecnológico efectivo y de su efecto sobre la eficiencia agregada.

La restricción eléctrica interrumpe ese canal en el escenario de mayor escala. En Green AI Valley el crecimiento efectivo cae del 4,05% al 3,32%: a partir de 2031 el nuevo capital tecnológico no encuentra electricidad y no se convierte en capacidad productiva. En el de despliegue tecnológico no actúa, porque la

demanda se puede satisfacer con el excedente. De este modo, la electricidad opera como condición de utilización del capital tecnológico.

La diferencia entre escenarios es de escala. Sin restricción, la mayor ambición de Green AI Valley rinde más: más capital tecnológico efectivo y mayor efecto sobre la productividad. Pero esa misma escala amplifica el coste de la restricción. Cuanto mayor es la oportunidad tecnológica, mayor es el PIB que queda sin captar si la generación de electricidad no acompaña, hasta el punto de que, con el excedente como techo, Green AI Valley no supera el impulso efectivo de una senda mucho más modesta.

Por último, se ha de destacar que la estimación ofrece una medida conservadora del coste de la restricción eléctrica. El modelo supone que la inversión tecnológica se realiza y que la insuficiencia de suministro solo reduce la utilización efectiva del capital ya instalado. En la práctica, una restricción eléctrica persistente puede actuar antes, condicionando la propia decisión de inversión. Si los inversores anticipan cuellos de botella eléctricos, incorporan ese riesgo a sus decisiones de localización. En el límite, un desajuste sostenido entre demanda y generación termina por revertir el propio despliegue. La nueva inversión se desplaza hacia regiones con suministro asegurado y la demanda tecnológica que no encuentra electricidad acaba por no materializarse. Las pérdidas de PIB calculadas reflejan solo el impulso no captado bajo una inversión tecnológica dada. No incluyen efectos sobre expectativas, desarrollo de proveedores, empleo cualificado o aprendizaje tecnológico. La disponibilidad de energía sostenible puede convertir los centros de datos verdes en una ventaja comparativa para América Latina y el Caribe. La región dispone de recursos naturales abundantes, potencial renovable, disponibilidad territorial y ventajas de localización. Esa dotación puede favorecer el desarrollo de centros de datos con menor huella ambiental si se transforma en generación operativa, red, trazabilidad del suministro, contratos de largo plazo, eficiencia energética y gestión adecuada del agua y de la refrigeración (Melguizo y Muñoz, 2026a).

Los grandes operadores tecnológicos buscan reducir la huella ambiental de sus operaciones y asegurar electricidad de origen sostenible. América Latina y el Caribe puede competir en ese espacio si convierte su dotación de recursos naturales en electricidad disponible, conectada y competitiva. La sostenibilidad forma parte de la propuesta de valor de la región en la nueva infraestructura digital.

La política digital y la política eléctrica deben avanzar de forma coordinada. La atracción de inversión tecnológica exige conectividad, regulación, capital humano, generación adicional, redes capaces de absorber nueva demanda y

procedimientos de conexión previsibles. La inversión tecnológica solo se convierte en productividad si el sistema productivo dispone de las condiciones materiales y laborales para utilizarla.

En términos operativos, el cuello de botella regional no es solo la generación, sino la transmisión y la conexión: filas de interconexión lentas y redes congestionadas retrasan por igual la entrada de renovables y la de los centros de datos. Tres palancas resultan decisivas. Primero, tratar el centro de datos como demanda flexible y "ancla": su capacidad de modular carga y de operar con almacenamiento propio puede convertirlo en un activo que estabiliza la red, y no solo en una carga que la tensiona. Segundo, acelerar y hacer predecibles los procedimientos de conexión y la expansión de la transmisión, donde operadores regionales son tan determinantes como los que actúan en la generación. Tercero, favorecer la localización de cómputo y generación renovable con almacenamiento, de modo que la nueva demanda financie nueva capacidad limpia en lugar de desplazar el consumo existente.

La posibilidad de convertir a América Latina y el Caribe en un *hub* tecnológico depende de esa conversión de recursos en capacidad eléctrica efectiva. Si el potencial renovable y territorial se transforma en infraestructura disponible, sostenible y competitiva, la región puede captar inversión, elevar su capital tecnológico y reforzar su productividad. Si esa conversión no se produce, el coste excederá la menor utilización del capital instalado. La región perderá inversión, aprendizaje tecnológico y posicionamiento en la economía digital internacional.

1.3. Hacia un enfoque ESG adaptado a la economía de la IA: digitalización, energía y simplicidad[10]. ¿Existe una relación entre ESG y rentabilidad?

Uno de los argumentos más repetidos a favor del enfoque ESG (Environmental, Social, and Governance) es que las empresas más sostenibles generan mejores resultados financieros. Durante la última década se ha acumulado una enorme cantidad de investigación sobre la relación entre desempeño ESG y rentabilidad. Una de las revisiones más influyentes sigue siendo la realizada por Friede, Busch y Bassen (2015), quienes analizaron más de 2.000 estudios empíricos pu-

[10] Algunos de los diagnósticos y propuestas de este apartado se han beneficiado de colaboraciones en los últimos años con Richard Benjamins. Véase, por ejemplo, Benjamins y Melguizo (2022).

blicados hasta ese momento y vieron que aproximadamente el 90% de los trabajos no encontraban una relación negativa entre sostenibilidad y desempeño financiero, mientras que una mayoría identificaba relaciones positivas. Este trabajo contribuyó decisivamente a consolidar la idea de que las prácticas ESG podían ser compatibles con la creación de valor económico.

La evidencia se reforzó años después con la revisión realizada por Whelan, Atz y Clark (2021), que examinó más de mil estudios publicados entre 2015 y 2020. Los autores encontraron una relación positiva entre desempeño ESG y resultados financieros en seis de cada diez estudios corporativos de inversión. Sin embargo, los propios autores advertían sobre importantes limitaciones metodológicas, entre ellas la heterogeneidad de las métricas ESG utilizadas, la dificultad para identificar qué factores son realmente materiales para cada sector y la escasa comprensión de los mecanismos causales que explicarían estas correlaciones.

Precisamente, una parte creciente de la literatura comenzó a cuestionar si los resultados positivos observados eran consecuencia de mejores prácticas empresariales o de problemas de medición. Kotsantonis y Serafeim (2019) señalaron que los datos ESG presentan limitaciones importantes relacionadas con la cobertura, la consistencia, la comparabilidad y la subjetividad de los indicadores utilizados. En la misma línea de cautela, Bruno, Esakia y Goltz (2022) reconstruyeron diversas estrategias de inversión ESG utilizando datos de MSCI entre 2007 y 2020. Aunque las rentabilidades simples parecían atractivas, al controlar por factores tradicionales de riesgo y mercado desaparecía cualquier evidencia estadísticamente significativa de mayor rentabilidad.

En los últimos años la literatura comienza a converger hacia una interpretación positiva, pero más cauta. Desde una perspectiva financiera, incluso podría ocurrir que la elevada demanda de activos sostenibles redujera sus retornos esperados futuros al incrementar sus valoraciones. No obstante, factores como cambios regulatorios, innovaciones tecnológicas, mejoras reputacionales o modificaciones en las preferencias de los inversores pueden generar episodios temporales de rentabilidad superior. Algunos trabajos continúan encontrando resultados favorables, como Hasnaoui (2025), quien utilizando medidas ajustadas al riesgo observa que los fondos con mejores calificaciones ESG obtienen mejores resultados que sus comparables. Una investigación más reciente apunta que lo que importa no son tanto los niveles absolutos de ESG como su evolución.

Galema y Gerritsen (2025) muestran que los mercados reaccionan positivamente cuando una empresa mejora sus puntuaciones ESG y negativamente

cuando estas empeoran, con un efecto diferencial de las prácticas medioambientales. Ello se alinea con diversos análisis de McKinsey (2022) que encuentran que las empresas que registran mejoras sostenidas en sus indicadores ESG tienden a mostrar mejores retornos para los accionistas que sus comparables sectoriales, aunque la evidencia se basa más en correlaciones que en causalidad. Escobar-Saldívar *et al.* (2026) concluyen que, en promedio, las empresas con mejores calificaciones ESG obtienen menores rentabilidades bursátiles, probablemente porque presentan un menor riesgo (y, por tanto, una menor prima de riesgo exigida por los inversores), aunque también afrontan costes asociados a la implementación de estas políticas. Por pilares, de nuevo el componente ambiental muestra un efecto más intenso en Europa, el de gobernanza varía según la región y el tamaño de la empresa, mientras que el componente social presenta un comportamiento más uniforme, manteniéndose en conjunto la relación negativa entre el desempeño ESG y la rentabilidad de las acciones.

Otros autores han propuesto analizar ESG como factor de riesgo. Dobrick (2025) sostiene que las empresas con peores prácticas ambientales, sociales o de gobernanza pueden estar más expuestas a litigios, sanciones regulatorias, daños reputacionales o cambios en las preferencias de los consumidores, por lo que los mayores retornos observados ocasionalmente en empresas con bajo desempeño ESG podrían interpretarse como una compensación por asumir mayores riesgos. Sin embargo, su análisis concluye que la evidencia no es lo suficientemente robusta como para considerar el ESG un factor de riesgo sistemático independiente, debido, entre otros motivos, a las importantes diferencias entre las metodologías de calificación ESG. Hu *et al.* (2026), utilizando datos de empresas del S&P 500 entre 2014 y 2025, encuentran que las compañías con mejores puntuaciones ESG presentan una menor probabilidad de sufrir simultáneamente pérdidas extremas, problemas de liquidez y aumentos bruscos de volatilidad durante episodios de estrés financiero. Los autores no encuentran evidencia de una prima ESG permanente, sino que interpretan el ESG como un factor de resiliencia que reduce la fragilidad de las empresas en escenarios adversos.

Incluso cuando los beneficios financieros directos son difíciles de identificar, las consecuencias de ignorar los factores ESG parecen cada vez más evidentes en las economías digitalizadas. Nicolas *et al*. (2024), utilizando 114 millones de publicaciones en X (Twitter) sobre empresas del S&P 100 entre 2016 y 2022, muestran que los episodios de deterioro reputacional en materia ESG detectados en redes sociales se asocian con una caída de la rentabilidad

bursátil de las empresas, incluso aislando este efecto del impacto de las controversias ESG difundidas por los medios. El efecto está impulsado principalmente por los aspectos sociales y de gobernanza, así como por la subcategoría de oportunidades ambientales, lo que pone de relieve el papel de las redes sociales en la formación de la percepción de los inversores sobre la reputación ESG.

¿Qué estamos midiendo exactamente?

Si existe un consenso creciente entre académicos y profesionales, no se refiere al impacto sobre la rentabilidad sino a la propia medición. El principal desafío del ESG es que bajo una misma etiqueta se están evaluando realidades muy distintas. Brandon, Krueger y Smidt (2021) analizaron las calificaciones ESG de siete de las principales agencias para empresas del S&P 500 entre 2010 y 2017 y encontraron que la correlación media entre las puntuaciones apenas alcanzaba 0,45. Es decir, diferentes agencias llegaban frecuentemente a conclusiones distintas sobre la misma empresa. Las discrepancias eran especialmente elevadas en la dimensión de gobernanza, donde la correlación caía hasta 0,16. La dimensión ambiental, en cambio, mostraba una mayor convergencia, con correlaciones cercanas a 0,46. Resultados similares fueron expuestos por Berg, Koelbel y Rigobon (2022), quienes analizaron seis de las agencias ESG más influyentes del mundo. Según sus estimaciones, las diferencias entre ratings se explican principalmente por tres factores: distintos indicadores utilizados para medir un mismo fenómeno (56% de la divergencia), diferencias en el alcance de las dimensiones consideradas (38%) y diferencias en las ponderaciones aplicadas (6%).

En resumen, las agencias no discrepan principalmente porque interpreten de manera diferente los mismos datos, sino porque están midiendo cosas distintas. La creciente preocupación por esta fragmentación metodológica impulsó diversos esfuerzos de armonización. En este contexto, el World Economic Forum (2020), en colaboración con las principales firmas de auditoría, propuso un conjunto común de métricas ESG construido sobre estándares ya existentes (GRI, SASB, TCFD, CDP, entre otros). El objetivo no era crear un nuevo estándar, sino avanzar hacia un sistema de reporte más homogéneo, comparable y útil para inversores, empresas y reguladores. Chatterji, Durand, Levine y Touboul (2016) refuerzan esta conclusión desde una perspectiva más amplia sobre ratings de responsabilidad social corporativa. Al comparar seis evaluadores reconocidos, documentan la discrepancia entre sus valoraciones, pese a que estas métricas se utilizan para orientar decisiones estratégicas, inversión y análisis

académico. Su aportación es importante porque muestra que el problema no es solo técnico, sino conceptual: los ratings CSR/ESG pretenden medir atributos complejos y multidimensionales, pero no existe suficiente convergencia sobre qué dimensiones deben incluirse ni cómo deben evaluarse.

Esta situación plantea un problema fundamental para inversores, reguladores y empresas. Si no existe acuerdo sobre qué constituye exactamente una buena práctica ESG, resulta extremadamente difícil utilizar estas métricas como herramienta de asignación eficiente de capital.

¿Tiene el enfoque ESG demasiados objetivos?

Por lo expuesto, una crítica importante es conceptual. ESG intenta capturar simultáneamente objetivos ambientales, sociales y de gobernanza que en ocasiones pueden ser complementarios, pero también pueden entrar en conflicto. *The Economist* (2022) y diversos analistas han argumentado que ESG se ha convertido en una especie de "contenedor universal" donde se incluyen cuestiones tan diversas como emisiones de carbono, diversidad de género, derechos laborales, remuneración de ejecutivos, corrupción, representación sindical o transparencia corporativa. Desde esta perspectiva, ESG corre el riesgo de intentar medir demasiadas cosas al mismo tiempo.

Sin embargo, abandonar las dimensiones sociales o de gobernanza no es una solución satisfactoria, dado que las tres dimensiones están profundamente interconectadas. Así, el cambio climático afecta de forma desproporcionada a las poblaciones más vulnerables, generando pobreza y exclusión social. A su vez, la fragilidad social erosiona la confianza en las instituciones, debilita la capacidad estatal y favorece fenómenos como la corrupción o la informalidad. Finalmente, una gobernanza deficiente dificulta tanto la protección ambiental como la cohesión social.

Por qué la "E" funciona mejor

La relativa mayor solidez de la dimensión ambiental ofrece algunas lecciones útiles. En primer lugar, existe un mayor consenso científico sobre los indicadores relevantes. Las emisiones de CO_2, el consumo energético, la eficiencia de recursos o la contaminación son variables relativamente objetivas y cuantificables. En segundo lugar, existe un ecosistema consolidado de medición y reporte. En tercer lugar, la dimensión ambiental ha logrado conectar sostenibilidad con

la racionalidad económica, como se sostiene en este libro. La eficiencia energética reduce costes, las energías renovables son cada vez más competitivas y la gestión de riesgos climáticos protege activos futuros. En otras palabras, la "E" ha conseguido construir una narrativa "gana-gana" donde sostenibilidad y rentabilidad pueden reforzarse mutuamente.

La dimensión social todavía no ha alcanzado ese nivel de consenso. Aunque existe creciente preocupación por la desigualdad, la precarización laboral, la polarización social o los efectos de determinadas tecnologías sobre el bienestar, todavía falta una comprensión más profunda de cómo estos fenómenos afectan a la creación de valor económico a largo plazo. Algo similar ocurre con la gobernanza. La diversidad de consejos de administración, la transparencia, la lucha contra la corrupción o la rendición de cuentas pueden parecer cuestiones heterogéneas, pero todas ellas influyen sobre la calidad institucional de las organizaciones y sobre la confianza que generan entre empleados, clientes, inversores y ciudadanos.

Reformar ESG en lugar de abandonarlo

Las limitaciones actuales del ESG apuntan hacia la necesidad de una nueva generación de métricas más simples, comparables y adaptadas a los desafíos de las economías digitalizadas del siglo XXI. Esta reforma podría apoyarse en tres pilares: incorporar explícitamente la dimensión digital, reforzar el monitoreo del uso de energía, y aumentar la transparencia y la comparabilidad.

Dimensión digital

Cuando surgió ESG, la transformación digital apenas comenzaba. Hoy resulta imposible analizar el impacto de una empresa sin considerar el papel de los datos, los algoritmos, la IA o la ciberseguridad. Por ello, diversos autores hemos propuesto evolucionar desde ESG hacia ESDG, incorporando explícitamente una dimensión digital (Benjamins y Melguizo, 2022). La digitalización genera enormes oportunidades para mejorar la sostenibilidad ambiental y social. La IA puede optimizar el consumo energético, mejorar la gestión de recursos naturales o ampliar el acceso a servicios esenciales. Pero también plantea riesgos significativos. Los algoritmos pueden reproducir sesgos discriminatorios. La concentración de datos puede generar nuevos desequilibrios de poder. La desinformación puede erosionar la calidad democrática. Y la propia infraestructura digital tiene una creciente huella energética, foco del presente estudio.

La dimensión digital, además, no se agota en la productividad. Comprende la ciberseguridad, la gobernanza de datos y la adopción responsable de IA como riesgos materiales: una brecha de seguridad o un uso indebido de datos puede destruir valor y reputación tan rápido como un pasivo ambiental. Medir la madurez digital de una empresa, incluida su resiliencia cibernética, es hoy parte de evaluar su sostenibilidad. En este sentido, la ciberseguridad debe entenderse también como una dimensión de la sostenibilidad empresarial, esto es, la capacidad de una organización para proteger sus activos digitales, datos e infraestructuras críticas condiciona su resiliencia y su capacidad de operar de forma continuada en el tiempo. En una economía crecientemente digitalizada, la sostenibilidad trasciende así lo estrictamente ambiental para abarcar el conjunto de factores no financieros que pueden comprometer la continuidad, la confianza y la creación de valor a largo plazo.

El papel de la energía

La revolución digital y la IA están transformando radicalmente la ecuación energética global. Los centros de datos, las redes de telecomunicaciones y los sistemas avanzados de IA consumen cantidades crecientes de electricidad. La disponibilidad de energía limpia, fiable y asequible se está convirtiendo en un factor estratégico de competitividad. Por ello, la dimensión ambiental debería prestar una atención mucho mayor a las cuestiones energéticas. No basta con medir emisiones. También es necesario evaluar intensidad energética, resiliencia de suministro, eficiencia tecnológica y contribución a la transición energética.

Transparencia y comparabilidad

Finalmente, relacionado con ambos, la prioridad más inmediata consiste en mejorar las métricas. Se necesitan estándares comunes, indicadores homogéneos y metodologías comparables entre países, sectores y agencias de calificación. La proliferación de marcos distintos dificulta la comparación y reduce la credibilidad del sistema. Al mismo tiempo, la carga de reporte debe simplificarse. La tecnología puede ayudar a automatizar la recopilación de datos y reducir los costes administrativos para las empresas.

En conclusión, el debate sobre ESG suele presentarse como una confrontación entre defensores y detractores. La evidencia disponible no permite afir-

mar que ESG tenga un impacto sistemático de signo positivo ni negativo sobre los retornos financieros. Pero sí muestra con claridad que las empresas operan en un mundo donde las externalidades importan cada vez más. Además, las emisiones de carbono, la cohesión social, la calidad institucional, la ética digital o la seguridad energética son factores que influyen directamente sobre la capacidad de crear valor económico sostenible en la economía digitalizada. Por ello, el camino a futuro pasa por mejorar el enfoque ESG, incorporando la dimensión digital, reforzando la centralidad de la energía y construyendo sistemas de medición más ligeros, transparentes y comparables, lo que permitiría evolucionar hacia un marco más robusto y adaptado a las grandes transformaciones de nuestro tiempo. El siguiente apartado profundizará en estas dimensiones, presentando evidencia original sobre liderazgos desde el sector empresarial iberoamericano.

2. Midiendo los avances en sostenibilidad e innovación en Iberoamérica. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI

2.1. La utilidad de un índice de empresas líderes en sostenibilidad

La internacionalización empresarial iberoamericana ha alcanzado una dimensión que ya no puede analizarse únicamente a través de los flujos agregados de inversión extranjera directa (IED). Durante las últimas décadas, cientos de empresas nacidas en América Latina, España y Portugal han construido operaciones multinacionales, desarrollado capacidades tecnológicas propias, accedido a mercados globales y contribuido a la creación de empleo, innovación y valor más allá de sus fronteras nacionales. Sin embargo, paradójicamente, cuanto más relevante se ha vuelto este fenómeno, más evidente se ha hecho la ausencia de una herramienta estable, rigurosa y periódica que permita identificar, medir y seguir la evolución de las empresas líderes de la región.

La necesidad de un índice de empresas líderes iberoamericanas surge precisamente de esta brecha de información. Se requiere de una infraestructura de conocimiento que permita comprender quiénes son los actores empresariales que están configurando la presencia internacional de Iberoamérica, cuáles son sus fortalezas competitivas, cómo evolucionan sus estrategias de expansión y qué papel desempeñan en la transformación económica de la región.

La dimensión central de este índice será la sostenibilidad, entendida desde una perspectiva de uso de recursos (agua, electricidad) por la digitalización e impacto medioambiental. El marco ESG tradicional ha contribuido decisivamente a incorporar factores ambientales, sociales y de gobernanza en la gestión

empresarial, pero también ha tendido a fragmentarse en un elevado número de indicadores cuya capacidad para identificar los principales determinantes de la competitividad futura resulta desigual. La aceleración simultánea de la IA, la electrificación de la economía y la transición energética invita a avanzar hacia un enfoque más simple, comparable y orientado a los recursos físicos que condicionarán el crecimiento durante las próximas décadas. En esta visión renovada, la sostenibilidad empresarial ("Sostenibilidad 4.0" como reza el título de este libro) se mide, ante todo, por la capacidad de reducir emisiones, gestionar eficientemente la energía y el agua, e integrar estas variables en la estrategia corporativa mediante políticas, objetivos y mecanismos de gobernanza transparentes. Incorporar estas dimensiones en un índice permitirá identificar a las multinacionales iberoamericanas con mayor presencia internacional que están liderando la transición hacia modelos de negocio más resilientes, eficientes y preparados para competir en una economía donde la disponibilidad de energía limpia, la digitalización y la gestión responsable de los recursos son determinantes de la productividad y la creación de valor.

Desde luego, la región no parte de cero. Durante las últimas dos décadas han existido diversos esfuerzos para identificar y analizar a las empresas latinoamericanas más internacionalizadas (cuadro 10). El ránking de multilatinas de *América Economía* contribuyó decisivamente a visibilizar el fenómeno y durante años fue la principal referencia regional. Sus clasificaciones, construidas a partir de variables como ventas internacionales, activos en el exterior, presencia geográfica y empleo fuera del país de origen, ayudaron a consolidar la idea de que América Latina estaba generando sus propias multinacionales capaces de competir en mercados globales. Del mismo modo, los trabajos impulsados desde la Universidad de Cornell desempeñaron un papel fundamental para dar consistencia conceptual al fenómeno de las multilatinas, conectándolo con la literatura internacional sobre multinacionales de economías emergentes y ofreciendo una perspectiva comparada sobre su evolución (Casanova y Miroux, varios años).

Recientemente, el informe *Global LATAM 2025* incorpora por primera vez un índice compuesto de empresas latinoamericanas internacionalizadas basado en múltiples variables empresariales, representando uno de los esfuerzos metodológicos más sofisticados realizados hasta la fecha (Blanco, 2025). Por su parte, el reciente estudio del Banco Interamericano de Desarrollo ofrece una caracterización detallada de las multilatinas a partir de una combinación de información pública y encuestas empresariales, aportando evidencia novedosa

sobre sus características, motivaciones y estrategias de internacionalización (Blyde *et al.*, 2025).

Cuadro 10. Selección de proyectos y ránkings de multilatinas

Proyecto / Ranking	Autor y año	Cobertura geográfica	Cobertura (número de empresas)	Foco de análisis
América Economía	América Economía (varios años)	América Latina	100	Grado de internacionalización: ventas, activos, empleo y presencia internacional.
Emerging Market Multinationals	Casanova y Miroux (varios años)	América Latina y emergentes	100–150	Conceptualización y evolución de las multilatinas; expansión internacional y estrategias.
Global LATAM Index	Blanco *et al.* (2025)	América Latina	~100	Índice compuesto de internacionalización basado en múltiples variables empresariales.
Multilatinas	Blyde *et al.* (2025) – BID	América Latina	~250	Caracterización de las multilatinas mediante información pública y encuestas; estrategias y motivaciones de internacionalización.

Fuente: Elaboración propia.

Todos estos esfuerzos, pese a su enorme valor, han compartido una limitación común: la dificultad para consolidar una referencia permanente, comparable y periódica en el tiempo. Se precisan esfuerzos estadísticos que usen de manera predominante información pública, verificable y disponible de forma periódica. Los estados financieros auditados, informes corporativos, registros bursátiles, indicadores de presencia internacional, empleo, innovación, sostenibilidad y desempeño operativo constituyen fuentes que permiten construir un instrumento transparente, replicable y sostenible en el tiempo. La periodicidad constituye igualmente un elemento fundamental. Solo mediante actualizaciones regulares es posible identificar qué empresas consolidan su liderazgo internacional, cuáles mejoran su competitividad, qué sectores ganan protagonismo y cómo evoluciona la estructura empresarial de la región.

Además, un índice moderno debe ir más allá de las métricas tradicionales de tamaño. La capacidad de innovar, desarrollar activos intangibles, incorporar tecnologías digitales, gestionar recursos naturales de forma sostenible o construir redes globales de conocimiento son factores cada vez más importantes para explicar el éxito empresarial internacional. Contar con un índice sistemático permitiría comprender mejor estos procesos y diseñar instrumentos más eficaces para apoyarlos. También facilitaría la cooperación entre gobiernos, organismos multilaterales, instituciones académicas y sector privado en torno a una agenda común de competitividad e internacionalización.

Desde la perspectiva empresarial, el índice puede convertirse igualmente en una herramienta de referencia para evaluar desempeño relativo, identificar mejores prácticas y visualizar oportunidades de mejora. En una América Latina y el Caribe, y una Iberoamérica donde el debate económico suele centrarse en limitaciones estructurales y desafíos pendientes, resulta especialmente importante destacar las organizaciones que han logrado construir capacidades globales y competir exitosamente en mercados internacionales. De hecho, el capítulo 3 del presente ensayo profundizará en algunas de las mejores prácticas globales, identificadas a partir del ránking.

2.2. Fuentes estadísticas y definiciones

Medir la sostenibilidad a partir del uso de los recursos y políticas empresariales

Uno de los principales problemas que ha enfrentado la sostenibilidad corporativa durante las dos últimas décadas no ha sido la falta de información, sino precisamente la abundancia de indicadores. Como se ha descrito en el apartado anterior, a medida que la agenda ESG fue ampliando su alcance, incorporando nuevas dimensiones ambientales, sociales y de gobernanza, también aumentó la complejidad de su medición. Hoy existen cientos de indicadores potencialmente relevantes, decenas de metodologías de evaluación y numerosos proveedores especializados que utilizan criterios, ponderaciones y definiciones diferentes para evaluar empresas aparentemente similares. Disponemos de más información sobre sostenibilidad que nunca, pero resulta difícil extraer conclusiones comparables y consistentes.

Esta situación no implica que el enfoque ESG carezca de utilidad. Al contrario, ha contribuido decisivamente a incorporar factores no financieros en la

toma de decisiones empresariales y de inversión. Sin embargo, también ha puesto de manifiesto las limitaciones de intentar resumir realidades extremadamente complejas mediante indicadores agregados que combinan dimensiones muy heterogéneas. En la práctica, una parte importante del debate sobre sostenibilidad ha terminado desplazándose desde la gestión de riesgos y oportunidades hacia cuestiones metodológicas relacionadas con la selección de variables, los sistemas de ponderación o las diferencias entre proveedores de información.

La transición digital y energética ofrece una oportunidad para replantear esta discusión desde una perspectiva más sencilla y, posiblemente, más robusta. A medida que la IA, la electrificación de la economía y la descarbonización avanzan simultáneamente, el desempeño ambiental de las empresas depende cada vez más de su capacidad para gestionar eficientemente recursos físicos críticos como la energía y el agua, controlar las emisiones de CO_2 a la atmósfera, y disponer de políticas, mecanismos de gobernanza y sistemas de transparencia capaces de orientar esa gestión de forma consistente a largo plazo.

La elección de estas cuatro dimensiones responde a una doble lógica, medioambiental y económica. Los mercados financieros, los reguladores y las propias empresas están comenzando a reconocer que los principales riesgos asociados a la sostenibilidad tienen una manifestación física concreta. El cambio climático se expresa mediante emisiones acumuladas en la atmósfera. La transición energética se materializa en cambios en la forma de producir y consumir energía. El estrés hídrico afecta directamente a su disponibilidad. Al mismo tiempo, la capacidad para responder a estos desafíos depende crecientemente de la existencia de estrategias empresariales, objetivos verificables, sistemas de reporte, incentivos internos y marcos de gobernanza que permitan integrar la sostenibilidad en la toma de decisiones.

Este enfoque presenta además una ventaja metodológica. Las tres primeras dimensiones descansan sobre variables físicas observables —emisiones, energía y agua—, cuya medición resulta generalmente más objetiva y comparable que la de otros indicadores ESG ("huella"). El cuarto pilar incorpora una dimensión complementaria, de carácter más cualitativo, centrada en las políticas corporativas, la transparencia y la gobernanza ambiental ("gestión"). Aunque estos elementos no siempre pueden expresarse mediante magnitudes físicas, constituyen un determinante fundamental de la capacidad de las organizaciones para mantener trayectorias sostenidas de mejora y adaptarse a un entorno regulatorio, tecnológico y financiero cada vez más exigente.

Una primera descripción de los datos. Base de datos Clarity AI

La base de datos original para esta investigación se ha construido a partir de los datos de Clarity AI, una tecnológica líder de datos y analítica especializada en el análisis extrafinanciero, con una cobertura global de cinco millones de empresas, incluyendo compañías no cotizadas. Como empresa nativa de IA, aplica modelos avanzados para la recogida de datos a escala, el análisis de su calidad y la generación de estimaciones cuando la información reportada no está disponible. Clarity AI ha desarrollado, además, un marco específico para evaluar la credibilidad de los planes de transición climática de las empresas. Este enfoque combina metodologías sectoriales, que comparan el desempeño climático de cada compañía con referencias y objetivos compatibles con su actividad, con el análisis de sus estrategias declaradas de descarbonización. Para ello utiliza modelos avanzados de lenguaje, que permiten procesar y contrastar información corporativa no estructurada y mejorar la evaluación de la consistencia entre objetivos, planes y desempeño observado (véase Clarity AI, 2025 para una aplicación a los sectores del acero y el cemento). Esta capacidad resulta especialmente relevante en un contexto en el que la sostenibilidad corporativa depende cada vez más de la calidad de los datos, la trazabilidad de los compromisos y la credibilidad de las trayectorias de reducción de emisiones.

Para este informe, se han utilizado datos de Clarity AI para empresas con sede en América Latina, España o Portugal: 1.373 compañías en total, con datos reportados y/o estimados según disponibilidad. Se han empleado datos de 2023, 2024 y 2025, centradas en métricas medioambientales de emisiones, consumo de agua y consumo de energía.

Específicamente, la selección de indicadores se agrupa en cuatro dimensiones: emisiones, transición energética, agua y políticas, gobernanza y transparencia. En conjunto, el índice trabaja inicialmente con 24 indicadores, distribuidos en tres bloques cuantitativos y uno cualitativo: (i) clima y emisiones (5 indicadores), que incluyen emisiones de alcance 1, alcance 2, emisiones totales, intensidad de carbono e intensidad energética; (ii) transición energética (7 indicadores), con información sobre consumo de energía renovable, electricidad renovable adquirida y consumida, energía renovable producida y consumida, energía renovable generada, participación de renovables en el consumo eléctrico y otras métricas de descarbonización; (iii) agua (5 indicadores), que recogen consumo, extracción, intensidad hídrica, reutilización y exposición al estrés hídrico; y (iv) políticas, gobernanza y transparencia (7 indicadores), que

evalúan la existencia de objetivos climáticos y de agua, compromisos de neutralidad, políticas de eficiencia energética, estrategias de abastecimiento renovable, mecanismos de reporte y transparencia, certificaciones e iniciativas voluntarias y sistemas de gobernanza ambiental.

Emisiones y clima

La primera dimensión, centrada en clima y emisiones, constituye el núcleo del análisis. El cambio climático representa probablemente el mayor desafío ambiental de alcance global al que se enfrentan las economías contemporáneas y las emisiones de gases de efecto invernadero constituyen el principal mecanismo mediante el cual las actividades humanas contribuyen a dicho fenómeno. Desde una perspectiva empresarial, las emisiones han dejado de ser una mera externalidad ambiental, para erigirse en una variable económica, financiera y regulatoria de primer orden. La introducción de mercados de carbono, mecanismos de ajuste fronterizo, objetivos nacionales de descarbonización y obligaciones crecientes de divulgación está transformando la forma en que las empresas gestionan su huella climática. Para ello resulta insuficiente analizar exclusivamente las emisiones directas. Las cadenas de suministro globales, la externalización de actividades productivas y la creciente complejidad de los procesos industriales explican la relevancia conceptual de las emisiones indirectas de la cadena de valor, o de alcance 3 (*scope 3*). Ahora bien, mientras las emisiones de alcance 1 y 2 (*scope 1* y 2) se miden con criterios homogéneos que permiten la comparación entre empresas, el alcance 3 se estima con metodologías dispares, lo que limita su comparabilidad. Por esta razón, el ránking prioriza los datos de emisiones de alcance 1, que reflejan el desempeño operativo directo de la empresa, y las de alcance 2, asociadas a la energía adquirida.

El tamaño de una empresa condiciona el volumen de sus emisiones, pero no informa sobre la calidad de su gestión ambiental. Una gran corporación puede presentar emisiones absolutas elevadas por su mera escala productiva, mientras que una empresa pequeña con procesos intensivos puede contaminar más por cada unidad de valor que genera. Para evaluar el desempeño con independencia del tamaño, la medida relevante es la intensidad de las emisiones, esto es, su volumen en relación con la facturación. Sobre esta lógica, común a las tres dimensiones físicas del índice, se construye la medición relativa a facturación que se detalla en el apartado acerca de la metodología.

La combinación de la intensidad de emisiones, intensidad energética y consumo total de energía renovable permite construir una visión más completa de

la sostenibilidad climática corporativa, cuantificando quién emite más y menos, cómo se generan esas emisiones y qué capacidad tiene cada organización para reducirlas en el futuro.

Transición energética

La segunda dimensión del ránking se centra en la transición energética. Aunque estrechamente vinculada a las emisiones, la transición energética permite evaluar la dirección en la que se mueve una organización. Dos empresas pueden presentar niveles similares de emisiones en un momento determinado y, sin embargo, encontrarse en trayectorias completamente diferentes desde el punto de vista de la descarbonización.

La importancia de esta dimensión ha aumentado considerablemente durante los últimos años. La electrificación de la economía, el crecimiento de las energías renovables y el aumento de la demanda energética asociada a la digitalización están transformando profundamente los sistemas energéticos globales. Las decisiones que las empresas adopten hoy respecto a su abastecimiento energético condicionarán tanto sus costes futuros como su exposición a riesgos regulatorios y climáticos.

Los indicadores seleccionados buscan capturar distintos grados de madurez dentro de este proceso de transición. El consumo de energía renovable proporciona una primera aproximación al nivel de integración de fuentes limpias dentro de las operaciones corporativas. Además, no todas las estrategias de incorporación renovable son equivalentes, por lo que se distinguen diferentes mecanismos de aprovisionamiento.

La energía renovable adquirida y consumida permite evaluar la capacidad de una organización para integrar electricidad limpia mediante contratos de compra o mecanismos de mercado. La energía renovable producida y consumida aporta información adicional sobre estrategias de autoconsumo y generación distribuida. A su vez, la energía renovable generada como producto refleja la contribución neta de determinadas empresas al proceso general de descarbonización energética.

Agua

La tercera dimensión del ránking está dedicada al agua. Tradicionalmente, este recurso ha recibido menos atención que las emisiones o la energía dentro de los

sistemas de evaluación corporativa. Sin embargo, esta situación está cambiando rápidamente. El aumento de episodios de sequía, la creciente presión sobre acuíferos y cuencas hidrográficas, y la expansión de actividades intensivas en consumo hídrico (como la refrigeración de los centros de datos descrita en el apartado 1.1) están convirtiendo la gestión del agua en una cuestión estratégica para un número creciente de sectores.

A diferencia de las emisiones de carbono, cuyos efectos son globales, los riesgos asociados al agua presentan una dimensión territorial mucho más marcada. La disponibilidad hídrica depende de factores geográficos, climáticos e institucionales específicos. Una misma cantidad de agua consumida puede tener implicaciones muy diferentes según el contexto en el que se produzca. Por esta razón resulta especialmente importante incorporar indicadores capaces de capturar no solo el consumo directo, sino también la exposición a condiciones de escasez.

El volumen total de agua consumida y extraída proporciona una medida básica de dependencia hídrica. Estos indicadores permiten identificar actividades especialmente intensivas en el uso de recursos hídricos y evaluar la presión ejercida sobre ecosistemas locales. Sin embargo, al igual que ocurre con las emisiones, el consumo absoluto no constituye por sí mismo una medida suficiente de sostenibilidad. Por este motivo se incorporan indicadores relacionados con el reciclaje y la reutilización. La proporción de agua reciclada y los volúmenes efectivamente reutilizados permiten evaluar hasta qué punto una organización ha desarrollado estrategias de economía circular aplicadas a la gestión hídrica.

El indicador de «estrés hídrico» añade una dimensión particularmente importante al análisis. No todas las empresas enfrentan los mismos riesgos asociados al agua. Aquellas que operan en regiones con elevada presión sobre recursos hídricos están expuestas a riesgos físicos, regulatorios y sociales potencialmente superiores. Incorporar esta variable permite contextualizar adecuadamente los niveles observados de consumo y extracción.

Políticas de gestión ambiental

La cuarta dimensión del ránking incorpora un elemento de naturaleza diferente a las tres anteriores. Mientras que emisiones, transición energética y agua miden resultados cuantificables sobre el uso de recursos físicos, este último pilar evalúa la existencia de políticas, compromisos y mecanismos de gober-

Cuadro 11. Indicadores disponibles para la construcción del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales (IIRED) Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI

Pilar	Indicador	Objetivo principal
Emisiones y clima	Emisiones totales de CO_2e (Alcances 1, 2 y 3)	Huella climática total
	Emisiones de Alcance 1	Eficiencia operativa
	Emisiones de Alcance 2	Estrategia eléctrica
	Emisiones de Alcance 3	Responsabilidad en cadena de valor
	Intensidad energética	Eficiencia relativa
	Emisiones de CO_2	Desempeño climático
	Consumo total de energía	Carga energética operativa
Transición energética	Consumo de energía renovable	Adopción de energía limpia
	Energía renovable adquirida y consumida	Calidad del aprovisionamiento
	Energía renovable producida y consumida	Madurez del autoconsumo
	Energía renovable generada	Contribución al sistema energético
	Uso de energía renovable	Integración de renovables
Agua	Agua consumida	Dependencia hídrica
	Extracción total de agua	Presión sobre recursos hídricos
	Tasa de reciclaje de agua	Circularidad del agua
	Agua reutilizada	Desempeño en reutilización
	Estrés hídrico	Riesgo de escasez
Políticas de gestión ambiental	Agua	
	Energía	
	Emisiones	

Fuente: Elaboración propia.

nanza que permiten sostener esos resultados a largo plazo. Busca medir la capacidad institucional de las organizaciones para integrar la sostenibilidad dentro de su estrategia empresarial, desde procesos internos de planificación y sistemas de medición, a incentivos adecuados, mecanismos de supervisión y una integración creciente de los riesgos ambientales dentro de la toma de decisiones empresariales.

Los indicadores incorporados buscan capturar precisamente ese grado de madurez institucional. Se consideran aspectos como la existencia de objetivos públicos de reducción de emisiones y consumo de agua, compromisos de neutralidad climática, políticas de eficiencia energética, estrategias de abastecimiento renovable, planes de adaptación al cambio climático, mecanismos de reporte y transparencia, participación en iniciativas internacionales, certificaciones ambientales y sistemas internos de gestión y supervisión de riesgos climáticos. Aunque muchos de estos elementos no reducen directamente una tonelada de CO_2 ni un metro cúbico de agua, aumentan significativamente la probabilidad de que esas reducciones puedan alcanzarse y mantenerse en el tiempo.

La incorporación de este cuarto pilar resulta especialmente relevante en un contexto de rápida transformación tecnológica. La expansión de la IA, la electrificación de la economía y el creciente escrutinio de inversores, reguladores y consumidores exigen marcos de gobernanza cada vez más sofisticados. En consecuencia, este cuarto pilar complementa las tres dimensiones cuantitativas del ránking incorporando una dimensión de futuro. En el siguiente apartado se detallan las variables utilizadas y su ponderación según criterios estadísticos y de disponibilidad de información.

2.3. Metodología

La construcción del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI (IIRED) parte de una dificultad habitual en la medición de la sostenibilidad empresarial. Se trata de comparar compañías de distinto tamaño, pertenecientes a sectores con huellas físicas muy diferentes y con niveles desiguales de información disponible. Una empresa de gran dimensión puede registrar mayores emisiones, mayor consumo energético o mayor extracción de agua que una empresa menor sin que ello implique necesariamente una peor gestión ambiental. Del mismo modo, una compañía industrial, minera, energética o de infraestructuras no puede interpretarse con

los mismos parámetros físicos que una entidad financiera, una empresa tecnológica o un proveedor de servicios profesionales.

El IIRED transforma un conjunto amplio de indicadores ambientales y de gestión en una medida sintética, comparable entre empresas y útil para identificar liderazgos relativos. La sostenibilidad corporativa en la economía digital debe evaluarse a partir de la capacidad de reducir emisiones, gestionar eficientemente recursos críticos como la energía y el agua, e integrar estas dimensiones en la estrategia empresarial mediante políticas, objetivos y mecanismos de transparencia.

El índice se construye a partir de las cuatro dimensiones descritas: clima y emisiones, energía, agua y gestión ambiental. Las tres primeras recogen dimensiones físicas observables de la actividad empresarial. La cuarta incorpora la capacidad institucional de las empresas para definir objetivos, reportar información, establecer compromisos y sostener mejoras en el tiempo. Esta combinación evita una aproximación demasiado estrecha, basada solo en variables de resultado, y también una aproximación excesivamente amplia, que diluya la sostenibilidad corporativa en un número elevado de indicadores heterogéneos.

El IIRED no pretende medir todas las dimensiones de la sostenibilidad empresarial. Su alcance es más preciso y se centra en emisiones operativas, energía, agua y gestión ambiental, en línea con las recomendaciones de simplicidad y modernización a raíz de la revolución digital descrita en el apartado 1.3. Tampoco debe interpretarse como una certificación de sostenibilidad absoluta, sino como una medida de posición relativa dentro del universo empresarial iberoamericano analizado. Por ello, la metodología se guía por tres principios rectores: transparencia, interpretabilidad y respaldo empírico. Transparencia, porque cada decisión de cálculo debe poder reconstruirse a partir de la información disponible. Interpretabilidad, porque cada puntuación debe tener una lectura económica clara. Respaldo empírico, porque la agregación de dimensiones debe apoyarse en la estructura observada de los datos y contrastarse mediante ejercicios de robustez. La sencillez no se entiende como renuncia a la precisión, sino como condición para que el índice pueda ser comprendido, replicado y utilizado.

La construcción del índice sigue la siguiente secuencia. Las magnitudes físicas se transforman primero en intensidades comparables entre empresas de distinto tamaño, medido según su volumen de facturación. Esas intensidades se convierten después en puntuaciones relativas mediante percentiles y se agrupan en las cuatro dimensiones del índice. A partir de ahí, las puntuaciones se

agregan en una medida sintética, con una ponderación informada por la estructura empírica de los datos y por criterios de interpretación económica. Finalmente, el índice se complementa con lecturas por cobertura informativa, sector y robustez metodológica.

De magnitudes absolutas a intensidades comparables

El tamaño no debe confundirse con el desempeño. Una empresa grande tiende a emitir, consumir energía y extraer agua en volúmenes mayores que una empresa pequeña, simplemente porque produce, vende y opera a mayor escala. Un ránking construido sobre magnitudes absolutas terminaría siendo, en la práctica, una clasificación por tamaño empresarial o por intensidad física del sector. La cuestión relevante para evaluar la sostenibilidad corporativa no es cuánto consume o emite una empresa, sino cuánto consume o emite por cada unidad de valor que genera.

Cada variable física se expresa como intensidad sobre facturación, es decir, como cantidad de recurso utilizado o impacto generado por unidad de ingreso. Esta transformación corrige, al menos parcialmente, el efecto del tamaño empresarial y aproxima la eficiencia con la que cada compañía transforma recursos físicos en valor económico.

$$z_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{v_i}$$

donde $z_{i,j}$ representa la intensidad de la empresa i en la variable j, $x_{i,j}$ el impacto o recurso físico considerado y v_i la facturación anual de la empresa.

La intensidad cumple, en sostenibilidad corporativa, una función análoga a la productividad en el análisis económico. La productividad mide cuánto producto obtiene una economía, una empresa o un sector por unidad de factor utilizado. La intensidad ambiental mide, en sentido inverso, cuántas emisiones, energía o agua requiere una empresa para generar un peso, real o dólar de ingresos. Una empresa que produce el mismo valor con menos emisiones, menos energía o menos agua es más eficiente en el uso de recursos. Esa eficiencia tiene contenido económico directo, porque reduce su exposición a costes regulatorios, volatilidad de precios, restricciones ambientales y riesgos reputacionales.

La intensidad de carbono del IIRED se calcula a partir de las emisiones directas de gases de efecto invernadero (alcance 1), y de las emisiones indirectas

asociadas a la electricidad y el calor adquiridos (alcance 2), referidas a la facturación anual[11].

$$c_i = \frac{e_i^1 + e_i^2}{v_i}$$

donde c_i representa la intensidad de carbono de la empresa i, e_i^1 sus emisiones de alcance 1, e_i^2 sus emisiones de alcance 2 y v_i su facturación anual. El numerador reúne las emisiones sobre las que la empresa tiene una capacidad de gestión más directa, las que proceden de sus propias operaciones y las asociadas a la energía que decide consumir.

La intensidad energética relaciona el consumo total de energía con la facturación.

$$n_i = \frac{q_i}{v_i}$$

donde n_i representa la intensidad energética de la empresa i, q_i el consumo total de energía y v_i la facturación anual. Esta variable mide cuánta energía necesita la empresa para generar una unidad de ingresos. Sin embargo, el volumen de energía consumida no agota su significado ambiental. Dos empresas con una intensidad energética similar pueden tener perfiles muy distintos si una se abastece en mayor medida de fuentes renovables y otra depende principalmente de fuentes fósiles. La dimensión energética combina por tanto cantidad y calidad del consumo.

La cuota de energía renovable se calcula como el cociente entre energía renovable consumida y energía total consumida.

$$r_i = \frac{q_i^R}{q_i}$$

donde r_i representa la cuota renovable, q_i^R el consumo de energía renovable y q_i el consumo total de energía. La intensidad energética aproxima la eficiencia en el uso de energía. La cuota renovable aproxima la calidad ambiental de la energía consumida. Ambas son necesarias para evaluar correctamente la posición de una empresa.

[11] En el IIRED se utiliza el criterio de localización para el alcance 2, que refleja la intensidad media de la red eléctrica del país o región en que se consume la energía.

La intensidad hídrica relaciona la extracción total de agua con la facturación.

$$h_i = \frac{a_i}{v_i}$$

donde h_i representa la intensidad hídrica de la empresa i, a_i la extracción total de agua y v_i la facturación anual. El agua presenta una particularidad importante. Su uso varía de forma muy marcada entre sectores. La extracción de agua es estructuralmente elevada en actividades como minería, generación eléctrica, agroindustria o determinadas ramas manufactureras, y mucho menor en servicios financieros, telecomunicaciones o actividades digitales ligeras. Esta diferencia hace necesario complementar el ránking general con una lectura sectorial, como desarrolla posteriormente.

Del valor observado a la puntuación relativa

Las intensidades de carbono, energía y agua se expresan en unidades distintas y presentan distribuciones muy asimétricas. En algunos sectores, unos pocos valores extremos pueden alterar de forma considerable las medias y las escalas de comparación. El problema no es solo estadístico. Una intensidad, por sí sola, no permite saber si una empresa tiene un buen o un mal resultado. Cobra sentido únicamente al compararla con el resto del universo analizado.

Cada variable se transforma en una puntuación entre 0 y 100 mediante percentiles. Antes de ordenar las empresas se aplica una *winsorización* en los extremos de la distribución, con el fin de limitar el efecto de valores atípicos o posibles errores de reporte[12]. Una vez ordenadas las observaciones, el percentil indica la posición relativa de cada empresa dentro del universo comparable.

Para una variable j, el percentil de la empresa i puede expresarse como:

$$\pi_{i,j} = F_j\left(x_{i,j}\right)$$

Cuando la variable tiene orientación positiva, como la cuota de energía renovable, una puntuación más alta refleja directamente mejor posición relativa. Cuando la variable tiene orientación negativa, como la intensidad de carbono, la intensidad energética o la intensidad hídrica, la escala se invierte. De este

[12] La *winsorización* consiste en limitar los valores extremos de una distribución, sustituyendo las observaciones por debajo o por encima de determinados percentiles por el valor de esos percentiles. Su objetivo es reducir el efecto de valores atípicos o posibles errores de reporte sin eliminar observaciones.

modo, todas las puntuaciones mantienen la misma interpretación: valores más altos indican mejor resultado relativo.

La transformación puede resumirse así:

$$P_{i,j} = 100 \cdot \pi_{i,j}$$

para las variables de beneficio, y

$$P_{i,j} = 100 \cdot \left(1 - \pi_{i,j}\right)$$

para las variables de coste. Esta escala permite combinar indicadores heterogéneos sin otorgar más peso a las variables con mayor varianza o con unidades de medida más amplias. También facilita la interpretación. Una puntuación de 90 significa que la empresa se sitúa entre el 10% con mejor posición relativa en esa dimensión. El IIRED mide, por tanto, posición relativa dentro del universo analizado, no sostenibilidad absoluta. Los percentiles se calculan sobre el universo global y no dentro de cada sector, de modo que la puntuación base es comparable entre sectores.

Por último, se descarta la transformación normal inversa, que convierte los rangos en una distribución acampanada mediante la función normal inversa. Dentro de cada dimensión, ambas transformaciones ordenan de forma idéntica, porque dependen solo del rango. La diferencia surge al agregar; la transformación normal inversa ensancha los extremos de la escala y comprime el centro, de modo que amplía la distancia entre las empresas líderes y el grueso de la distribución, mientras que el percentil de rango mantiene una escala uniforme de 0 a 100 con lectura directa, ya que una puntuación de 90 significa situarse entre el 10% con mejor posición. El orden del índice agregado apenas cambia entre ambas opciones, con una correlación de rangos de Spearman de 0,99, por lo que se adopta la transformación más sencilla e interpretable.

Las cuatro dimensiones del IIRED

Las puntuaciones se agrupan en cuatro dimensiones: clima y emisiones, energía, agua y gestión ambiental. La dimensión de clima y emisiones se aproxima mediante la intensidad de carbono operativo de la empresa, calculada a partir de las emisiones de alcance 1 y alcance 2 sobre facturación. Es una

variable de coste, por lo que menor intensidad implica mayor puntuación. La dimensión de agua se construye del mismo modo, a partir de la intensidad hídrica.

La dimensión energética incorpora dos componentes. El primero mide la cantidad de energía utilizada por unidad de ingresos. El segundo mide la calidad ambiental de esa energía, aproximada por la cuota renovable sobre el consumo total. Dos empresas con igual intensidad energética no son equivalentes si una se abastece en mayor medida de fuentes renovables y otra depende de fuentes fósiles. La puntuación energética combina ambos componentes con el mismo peso.

$$P_i^E = 0{,}5\, P_i^n + 0{,}5\, P_i^r$$

El reparto a partes iguales concede el mismo valor a consumir menos energía y a consumir energía más limpia. Cuando solo se dispone de una de las dos puntuaciones, la dimensión energética toma el valor de la información disponible, siempre que la empresa cumpla los criterios mínimos de cobertura establecidos para formar parte de la muestra principal o de la muestra ampliada.

La cuarta dimensión recoge la gestión ambiental. Se construye a partir de cuatro compromisos relativos a la reducción de emisiones y a la eficiencia hídrica: existencia de una política de reducción de emisiones, definición de objetivos de reducción de emisiones, existencia de una política de eficiencia hídrica y definición de objetivos de eficiencia hídrica. Cada compromiso se codifica como una variable binaria, con valor uno cuando la empresa lo declara y cero cuando no lo declara. La puntuación de gestión se calcula como la proporción de respuestas afirmativas sobre las respuestas disponibles, siempre que la empresa reporte al menos dos de los cuatro compromisos considerados.

$$P_i^G = \begin{cases} 100 \cdot \dfrac{\sum_{k=1}^{K_i} C_{i,k}}{K_i}, & \text{si } K_i \geq 2 \\ \text{no disponible}, & \text{si } K_i < 2 \end{cases}$$

donde $C_{i,k}$ representa cada compromiso ambiental reportado y K_i el número de compromisos disponibles para la empresa i. Con cuatro compromisos disponibles, la puntuación toma los valores 0, 25, 50, 75 o 100. Con dos o tres compromisos, se calcula sobre las respuestas disponibles. Con uno solo, la dimensión no se calcula. Esta decisión evita interpretar automáticamente la ausencia de

información como incumplimiento, pero introduce un umbral mínimo de consistencia y transparencia informativa. Una única declaración aislada no basta para aproximar una dimensión de gestión ambiental, porque la gestión implica un sistema mínimo de políticas y objetivos, no solo un compromiso puntual. La dimensión de gestión debe interpretarse de forma distinta a las dimensiones físicas dado que no mide directamente resultados ambientales presentes, sino que capta políticas, objetivos y compromisos que permiten valorar la capacidad de la empresa para gobernar sus impactos y sostener mejoras en el tiempo.

Criterios de selección de variables

La selección de variables responde a un criterio doble: relevancia ambiental y comparabilidad estadística. Por ello, se incorporaron en el IIRED aquellas variables que capturan dimensiones centrales de la sostenibilidad corporativa y que cuentan con una cobertura suficiente y una medición razonablemente homogénea entre empresas. Las emisiones operativas, la energía y el agua son magnitudes físicas medidas en unidades comparables y pueden transformarse en intensidades sobre facturación. Los compromisos de gestión ambiental permiten incorporar la existencia de políticas y objetivos que condicionan la trayectoria futura de la empresa.

Ese mismo criterio aconseja no ampliar la lista de variables sin una ganancia clara de información. El reciclaje de agua lo reporta apenas el 7% de las empresas de la muestra, la reducción de sustancias tóxicas el 11%, y el desglose detallado de fuentes renovables entre el 17% y el 25%. Incorporarlas obligaría a evaluar a una minoría de empresas con información muy específica y a compararla con una mayoría sin dato disponible. En lugar de mejorar la medición, reduciría la comparabilidad.

Otras variables se excluyen porque duplican información ya capturada. El alcance 2 puede medirse con diferentes criterios, en particular por localización o por mercado. En la práctica, ambas medidas ordenan a las empresas de forma muy similar, con una correlación de rangos de Spearman de 0,973[13]. Incluir ambas no añadiría información sustantiva y duplicaría el peso del mismo fenómeno. Por ese motivo, el IIRED retiene la medida por localización, más vinculada a la intensidad media de la red eléctrica en la que opera la empresa.

[13] La correlación de rangos de Spearman mide el grado de coincidencia entre dos ordenaciones. Toma valores entre -1 y 1. Un valor próximo a 1 indica que dos métodos producen ránkings muy similares, aunque las puntuaciones exactas no sean idénticas.

Las emisiones de alcance 3 merecen una consideración específica. Su relevancia ambiental es clara, en especial en actividades con cadenas de valor extensas o con impactos importantes aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo, su medición presenta problemas de comparabilidad. Las empresas utilizan metodologías, supuestos y perímetros de cálculo muy diferentes, lo que limita la comparación directa entre compañías y sectores. Por coherencia con la lógica de transparencia, interpretabilidad y respaldo empírico que guía el índice, el cálculo del IIRED se mantiene sobre emisiones operativas. El alcance 3 se examina como una ampliación del análisis separada del cálculo del IIRED, y se desarrolla en el apartado de resultados. Ese ejercicio permite observar qué sectores y empresas modifican su posición al considerar la huella de cadena de valor, sin alterar la comparabilidad del IIRED.

Ponderación y agregación

Una vez construidas las cuatro dimensiones, el IIRED se obtiene mediante una media ponderada. La agregación debe resolver dos problemas. El primero es conceptual, ya que las dimensiones no tienen la misma naturaleza. Clima, energía y agua son dimensiones físicas, mientras que gestión ambiental recoge políticas y objetivos. El segundo es estadístico, dado que algunas dimensiones se mueven de forma conjunta, mientras que otras aportan información diferenciada.

El análisis factorial informa la ponderación, pero no la determina[14]. Su utilidad es mostrar qué dimensiones se mueven juntas y cuáles aportan información propia. Aplicado a las dimensiones físicas, revela que clima y energía están estrechamente relacionadas: su correlación de rangos de Spearman alcanza 0,80, porque una parte sustancial de las emisiones procede del uso de energía. Esa redundancia tiene consecuencia directa sobre los pesos. El carbono encabeza la ponderación por su materialidad climática, mientras que la energía recibe un peso menor para evitar que el vínculo entre consumo energético y emisiones amplifique en exceso el mismo fenómeno físico. El agua conserva una cuota propia, porque su intensidad depende de factores sectoriales, territoriales y tecnológicos que no capturan ni el carbono ni la energía. La gestión

[14] El análisis factorial permite estudiar si varias variables observadas responden a dimensiones comunes no observadas directamente. En este caso, se utiliza para comprobar si clima, energía, agua y gestión ambiental contienen información diferenciada o si algunas dimensiones capturan fenómenos muy próximos.

ambiental constituye una dimensión diferenciada, más ligada a políticas, objetivos y capacidad institucional que a resultados físicos inmediatos.

La especificación del IIRED asigna un peso de 0,85 a la huella ambiental y de 0,15 a la gestión ambiental. Dentro de la huella, clima y emisiones representan un 38,4%, energía un 27,4% y agua un 34,2%. Expresado sobre el índice total, equivale a un peso de 0,326 para clima y emisiones, 0,233 para energía, 0,291 para agua y 0,150 para gestión ambiental (cuadro 12). El agua recibe más peso que la energía porque su intensidad aporta información propia del uso del recurso, mientras que la energía, muy correlacionada con el carbono, reforzaría el peso del clima si se ponderara por encima. Esta ponderación mantiene el predominio de las dimensiones físicas, pero evita que cualquiera de ellas determine por sí sola la lectura agregada del índice.

Cuadro 12. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales (IIRED)

Dimensión	Variable principal y tratamiento	Peso
Clima y emisiones	Intensidad de carbono operativo. Percentil invertido.	0,326
Energía	Intensidad energética y cuota renovable. Tratamiento mixto, con percentil invertido para intensidad y percentil positivo para renovables.	0,233
Agua	Intensidad hídrica. Percentil invertido.	0,291
Políticas de gestión ambiental	Políticas y objetivos ambientales. Proporción reportada, con mínimo de dos respuestas disponibles.	0,150

Fuente: Elaboración propia.

Estos pesos constituyen una regla de agregación transparente, informada por la estructura de los datos y por criterios de interpretación económica, pero no una estimación exacta de la importancia ambiental de cada dimensión. En particular, los resultados se contrastan con una ponderación factorial, que asigna mayor peso al agua por su capacidad discriminante, y con una ampliación que incorpora las emisiones de alcance 3 al análisis climático. La estabilidad del rán-

king en estos contrastes permite evaluar hasta qué punto la ordenación depende de los pesos elegidos y de la incorporación de emisiones de la cadena de valor.

La fórmula general del índice es:

$$S_i = \frac{\sum_{p=1}^{4} w_p \, P_{i,p}}{\sum_{p=1}^{4} w_p}$$

donde S_i representa la puntuación IIRED de la empresa i, $P_{i,p}$ la puntuación en la dimensión p y W_p el peso asignado a dicha dimensión. El denominador se calcula sobre las dimensiones disponibles para cada empresa, de modo que el índice se renormaliza cuando falta información en alguna dimensión. Esta decisión permite conservar empresas con información parcial, aunque exige distinguir claramente entre distintos niveles de cobertura.

La función de estos contrastes no es desplazar la especificación del IIRED, sino acotar el margen de juicio metodológico que acompaña a cualquier índice sintético. Si la ordenación se mantiene estable bajo ponderaciones alternativas, la lectura del ránking gana credibilidad.

Cobertura de información y muestra principal

La información ambiental corporativa presenta una cobertura desigual. Muchas empresas reportan emisiones, pero no agua. Otras informan sobre políticas, pero no sobre consumo energético. Algunas reportan datos para una parte de las variables y no para el conjunto. La metodología debe equilibrar dos objetivos: maximizar el número de empresas analizadas y preservar la calidad de la comparación.

La ausencia de información no se imputa automáticamente como mal desempeño ambiental. Hacerlo confundiría falta de reporte con mayor impacto físico. Sin embargo, la cobertura informativa condiciona la fiabilidad de la comparación. El IIRED distingue por ello entre una muestra principal y una muestra ampliada. La muestra principal incluye a las empresas con información suficiente en al menos tres de las cuatro dimensiones. Es la base de referencia para el ránking analizado a continuación. La muestra ampliada incorpora empresas con información en al menos dos dimensiones y se utiliza con carácter indicativo. Esta distinción separa la puntuación de sostenibilidad de la calidad informativa sobre la que se apoya. Una empresa puede obtener una puntuación elevada con información parcial, pero su interpretación debe ser más cautelosa que la de una empresa evaluada en todas las dimensiones.

En la versión de referencia, el universo está compuesto por 1.373 empresas iberoamericanas con sector asignado. Tras aplicar el umbral mínimo de gestión ambiental, 1.359 disponen de índice calculable y la muestra principal reúne a 948 empresas con al menos tres dimensiones disponibles. Los ejercicios de análisis factorial y contraste con TOPSIS[15] se calculan sobre el subconjunto de empresas que reportan las cuatro dimensiones, con el fin de asegurar comparabilidad plena en las pruebas de robustez[16].

La gestión ambiental se calcula utilizando la información más reciente disponible. En la especificación de referencia, cuando una empresa no reporta en 2024, se toma la respuesta más reciente disponible entre 2022 y 2024. El orden de operaciones es relevante: primero se arrastra la información más reciente disponible y después se aplica el umbral mínimo de dos compromisos reportados. Este criterio permite ampliar la cobertura sin imputar artificialmente compromisos no observados. También reconoce que las políticas ambientales y los objetivos corporativos suelen tener una vigencia superior a un ejercicio anual. Las intensidades físicas, en cambio, se calculan con el dato nativo de 2024. El arrastre temporal se aplica únicamente a la dimensión de gestión.

Comparación sectorial

El resultado ambiental está condicionado por la actividad productiva. Una empresa financiera, una compañía de software o una firma de servicios profesionales parten de una huella física muy distinta a la de una empresa cementera, minera, energética o de transporte. Un ránking general mide, por tanto, dos elementos a la vez: la posición relativa de cada empresa y la naturaleza física del sector al que pertenece. Esta doble lectura es útil, pero puede ocultar liderazgos dentro de sectores intensivos en recursos.

Por eso el IIRED ofrece una versión ajustada por sector. El ránking general responde a la pregunta de qué empresas presentan mejor posición relativa dentro del conjunto iberoamericano analizado. El ránking sectorial muestra qué empresas presentan mejor posición relativa frente a sus pares. Ambas lecturas

[15] TOPSIS, por sus siglas en inglés, corresponde a *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*. Es un método de análisis multicriterio que ordena alternativas según su proximidad a una solución ideal positiva y su distancia respecto a una solución ideal negativa.

[16] La disponibilidad de información condiciona la comparabilidad del índice. Por ello, los resultados principales se presentan sobre la muestra con cobertura suficiente, mientras que la muestra ampliada permite ofrecer una lectura más extensa, aunque menos robusta.

son complementarias. La pertinencia de esta lectura tiene respaldo empírico. El sector al que pertenece una empresa explica alrededor de un tercio de la varianza del IIRED, frente a algo más del 5% que explica el país. La huella física está condicionada sobre todo por la actividad, y por eso el ajuste sectorial aísla el mérito relativo de la empresa frente a la ventaja o desventaja estructural de su sector.

El ajuste sectorial expresa la puntuación de cada empresa como su desviación respecto a la media de su sector, medida en desviaciones típicas y reescalada a una media de 50 y una desviación típica de 15.

$$S_i^{sector} = 50 + 15 \cdot \frac{S_i - \bar{S}_s}{\sigma_s}$$

donde $\bar{S}_s$ representa la media del sector s y su σ_s desviación típica. El resultado se acota entre 0 y 100 para preservar la escala común del índice. Esta transformación sitúa alrededor de 50 a la empresa media de cada sector y ordena al resto según su distancia respecto a ese valor. De este modo, se aísla mejor el mérito relativo de la empresa frente a la ventaja o desventaja estructural derivada de su actividad.

Los agregados sectoriales se presentan preferentemente mediante medianas, más robustas frente a valores extremos que las medias. Esta decisión es especialmente relevante en sectores con empresas muy grandes o con distribuciones muy asimétricas de emisiones, energía o agua.

Para la presentación de resultados, los sectores se agrupan, además, en cinco categorías según su intensidad tecnológica. Esta agrupación es una lente de lectura, ajena al cálculo del índice, y se desarrolla en el apartado de resultados.

Robustez metodológica

La media ponderada no es la única forma posible de agregar dimensiones. Conviene comprobar que el orden que produce no es un artefacto del método elegido. El IIRED se contrasta con métodos alternativos de análisis multicriterio y con medidas de coincidencia entre ránkings. El objetivo no es sustituir la metodología principal, sino comprobar que la ordenación obtenida refleja la información contenida en los datos.

El principal contraste se realiza mediante TOPSIS, un método que ordena alternativas según su proximidad a un perfil ideal y su distancia respecto a un perfil antiideal. En este caso, la empresa ideal sería aquella que presenta el

mejor valor observado en cada dimensión, mientras que la empresa antiideal presentaría los peores valores. El método calcula la distancia de cada empresa a ambos perfiles y obtiene una medida de cercanía relativa al ideal.

La cercanía relativa puede expresarse como:

$$C_i = \frac{d_i^N}{d_i^P + d_i^N}$$

donde d_i^P es la distancia de la empresa *i* respecto al perfil ideal positivo d_i^N y su distancia respecto al perfil antiideal o negativo. Cuanto mayor es C_i, más próxima se encuentra la empresa al perfil de mejor resultado multidimensional. La comparación entre el IIRED y la ordenación obtenida mediante TOPSIS muestra una elevada coincidencia. La correlación de rangos de Spearman se sitúa en torno a 0,98 y las primeras posiciones se mantienen prácticamente inalteradas. Esta estabilidad indica que el ránking refleja la información contenida en los datos y no depende de forma decisiva de una única técnica de agregación.

Como contraste adicional, se utiliza el método CRITIC para examinar la estructura de información de las variables[17]. Este método asigna mayor peso a las variables con más variabilidad y menor correlación con el resto. Su resultado no se adopta como ponderación principal, porque responde a un criterio puramente estadístico y no necesariamente a una interpretación económica o ambiental. Sin embargo, resulta útil para verificar que las dimensiones del índice contienen información diferenciada y para evaluar la sensibilidad de los resultados.

La estabilidad del índice se examina también frente a la incertidumbre de los pesos. Mediante una simulación de Montecarlo se perturban de forma aleatoria los cuatro pesos en un entorno de ±30%, con 2.000 réplicas, y se recalcula el ránking en cada iteración. El orden se mantiene: la correlación de rangos de Spearman con la especificación de referencia no baja de 0,99 en ninguna réplica. Cada empresa recibe así un intervalo de posición. Las de cabecera apenas se desplazan una decena de puestos, el 94% de las cincuenta primeras permanece en ese grupo, y la incertidumbre se concentra en la cola, donde las puntuaciones están más próximas entre sí. La ordenación es robusta no solo entre

[17] CRITIC, por sus siglas en inglés, corresponde a Criteria Importance Through Intercriteria Correlation. Es un método de ponderación objetiva que asigna mayor peso a las variables con más variabilidad y menor correlación con el resto. Su utilidad reside en contrastar la sensibilidad de los resultados, aunque sus pesos no deben interpretarse necesariamente como importancia económica o ambiental.

esquemas de peso alternativos, sino también dentro de un rango continuo de variación en torno a los pesos elegidos.

Un último grupo de contrastes verifica que el índice mide sostenibilidad y no otras características de las empresas. El IIRED no es un indicador encubierto de tamaño: la huella física es prácticamente independiente de la facturación, con una correlación de rangos en torno a 0,1, y la relación moderada que se observa procede de la dimensión de gestión, ya que las empresas mayores declaran más políticas y objetivos. Tampoco premia reportar más, porque la correlación entre el índice y el número de dimensiones disponibles es nula, de modo que la cobertura informativa se trata como una cuestión de fiabilidad y no de desempeño.

En conjunto, estos ejercicios permiten mantener una construcción transparente y fácil de reconstruir, respaldada por métodos estadísticos y multicriterio consolidados. El IIRED no delega su interpretación en un algoritmo. Utiliza la evidencia empírica para contrastar y afinar una estructura metodológica guiada por criterio económico.

En suma, la metodología del IIRED busca equilibrar comparabilidad, precisión e interpretación económica. Las intensidades permiten separar eficiencia de tamaño. Los percentiles convierten magnitudes heterogéneas en puntuaciones comparables. Las cuatro dimensiones capturan emisiones operativas, energía, agua y gestión ambiental. La ponderación combina criterio económico y estructura empírica de los datos. La distinción entre muestra principal y muestra ampliada evita confundir puntuación con calidad informativa. El ajuste sectorial y los ejercicios de robustez permiten interpretar el ránking con cautela y con una confianza razonable en la estabilidad de sus resultados.

2.4. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales (IIRED) Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI

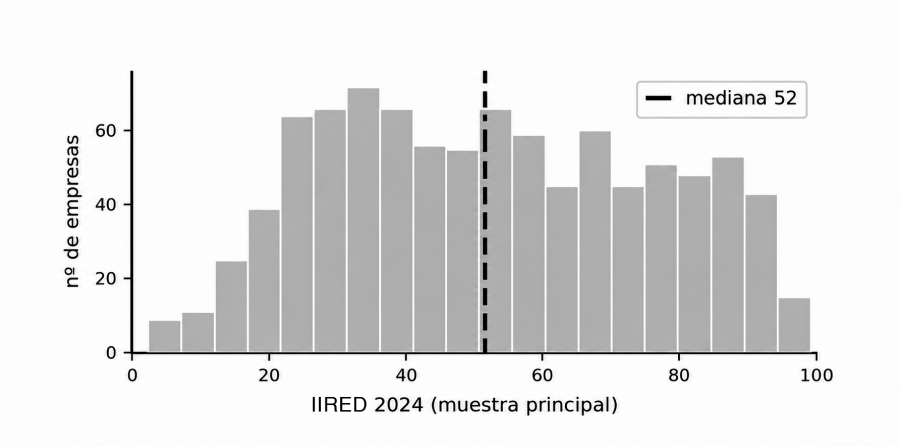
El IIRED mide la sostenibilidad corporativa iberoamericana con variables físicas homogéneas y permite una interpretación económica de sus resultados. La intensidad de recursos aproxima la eficiencia con que cada empresa genera valor utilizando energía y agua, y limitando sus emisiones, en términos próximos a una medida de productividad ambiental. Bajo esta interpretación, los datos son coherentes con una hipótesis central: dentro del perímetro operativo que capta el índice, los negocios más intensivos en tecnología producen valor con menor huella por unidad de ingreso.

Panorama general

Como se ha explicado en detalle en el apartado metodológico, el índice cubre 1.373 empresas iberoamericanas. De ellas, 1.359 tienen puntuación calculable una vez aplicado el umbral mínimo de gestión, y 948 componen la muestra principal, con información en al menos tres de las cuatro dimensiones. Salvo que se indique lo contrario, los agregados se refieren a esa muestra principal y se expresan en medianas, más robustas frente a los valores extremos.

Cada puntuación expresa una posición relativa dentro del universo analizado. Una empresa con 90 se sitúa entre el 10% con mejor desempeño en esa dimensión. La distribución del IIRED tiene una mediana de 51,6 y un recorrido intercuartílico amplio, de 33 a 72 (gráfico 10). Esa amplitud tiene contenido económico y no refleja ruido estadístico, porque recoge diferencias reales de eficiencia en el uso de recursos entre las empresas y los sectores de la región.

Gráfico 10. Distribución del IIRED 2024 (muestra principal)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Ránking general: modelos ligeros en recursos

Las primeras posiciones del ránking corresponden a entidades financieras, aseguradoras y empresas de tecnología y comunicación (cuadro 13). Encabeza la lista Agile Content, una tecnológica española, seguida de aseguradoras y bancos de Perú, Chile, Brasil y España y de firmas digitales como Bemobi. En parte la razón es estructural, dado que se trata de modelos de negocio ligeros en activos y en recursos físicos, que generan un valor elevado con poca energía, poca agua

y pocas emisiones por unidad de ingreso. La ventaja de los servicios y de las actividades digitales se manifiesta ante todo en la huella operativa.

Además, parte de este liderazgo debe matizarse. Varias de estas empresas ocupan posiciones muy altas por su huella, pero la información disponible sobre gestión ambiental es incompleta. En cambio, los casos más sólidos combinan una huella excelente con una gestión plena, como Banco Bradesco y CaixaBank, con valores de huella cercanos a 96 y de gestión de 100, además de la líder Agile Content.

Cuadro 13. Top-10 del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales IIRED 2024 (ránking global)

#	Empresa	País	Sector	Huella	Gestión	IIRED
1	Agile Content SA	España	Tecnología	99	100	99,1
2	Protecta SA Compañía de Seguros	Perú	Finanzas	97	s/d	97,4
3	Seguros Vida Security Previsión SA	Chile	Finanzas	97	s/d	96,9
4	Banco Bradesco SA	Brasil	Finanzas	96	100	96,7
5	Bemobi Mobile Tech SA	Brasil	Tecnología	97	s/d	96,7
6	CaixaBank SA	España	Finanzas	96	100	96,2
7	Dunas Energía SAA	Perú	Servicios públicos	96	s/d	96,2
8	Interseguro Compañía de Seguros SA	Perú	Finanzas	96	s/d	96,1
9	Allied Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	96	s/d	96,1
10	Pacífico Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	96	s/d	95,6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024
Nota: El top-50 figura en el anexo (cuadro A1).

Huella y gestión: las dos palancas

El IIRED combina dos componentes de naturaleza distinta. La *huella* mide la eficiencia física, es decir, cuánta energía, agua y carbono se asocian a cada unidad de valor. Una menor intensidad se traduce en costes operativos más contenidos y en menor exposición a la volatilidad de precios, al coste del carbono, al estrés hídrico y al riesgo regulatorio. La eficiencia ambiental funciona aquí como una dimensión de competitividad, coherente con la idea de que la eficiencia energética y el despliegue renovable pueden reforzar la competitividad empresarial.

La *gestión* recoge una dimensión diferente, la capacidad institucional de la empresa para fijar políticas y objetivos y para reportarlos con transparencia. No refleja resultados físicos inmediatos, sino la aptitud para sostener mejoras y anticipar riesgos. Una agenda de sostenibilidad corporativa renovada debería tratarla como fuente de valor, más que como una carga de cumplimiento.

La comparación sectorial muestra que las dos palancas capturan fenómenos distintos (cuadro 14). Los sectores de energía y materiales combinan una gestión elevada, con mediana de 100, y una peor posición relativa en huella, con puntuaciones de 18 a 24. En cambio, el sector de tecnología presenta el perfil inverso: una mejor posición relativa en huella, 82 puntos, y una gestión más modesta, de 50; ligera en recursos, pero menos formalizada en sus compromisos.

Cuadro 14. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales, huella y gestión por sector (medianas)

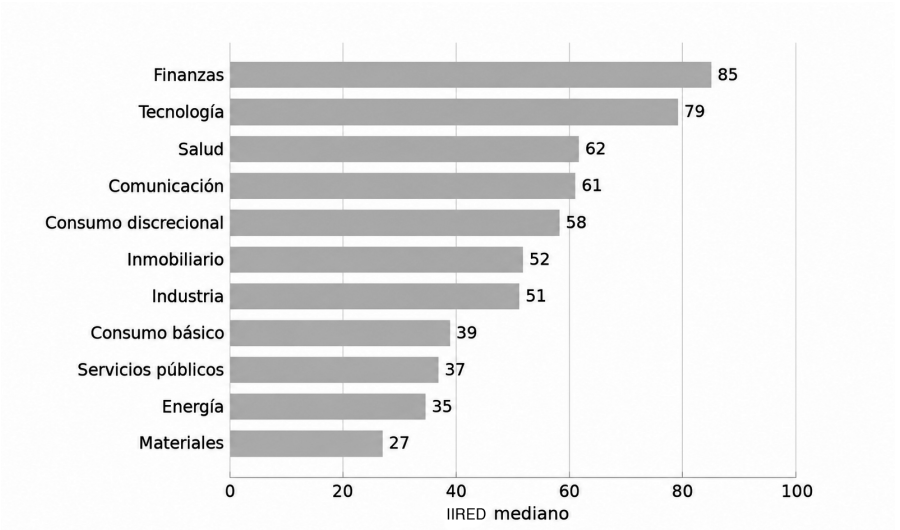
Sector	n	IIRED	Huella	Gestión
Finanzas	160	84,8	85,6	75,0
Tecnología	30	79,1	81,8	50,0
Salud	35	61,5	63,3	87,5
Comunicación	46	61,3	61,7	66,7
Consumo discrecional	100	58,3	58,1	75,0
Inmobiliario	84	51,7	44,3	75,0
Industria	129	51,5	49,7	75,0
Consumo básico	109	38,8	35,6	75,0
Servicios públicos	117	36,7	33,9	75,0
Energía	26	34,5	23,9	100,0
Materiales	112	26,7	18,5	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Comparación sectorial y ajuste intrasector

El resultado ambiental depende en buena medida de la actividad. El gradiente sectorial es nítido (véase el gráfico 11): finanzas y tecnología encabezan, con medianas de 85 y 79, mientras que materiales, energía y servicios públicos cierran la clasificación por debajo de 40. Ese orden es coherente con el enfoque del índice, que mide la intensidad física real de cada actividad y no una etiqueta reputacional.

Gráfico 11. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales mediano por sector



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

El ajuste intrasector separa el desempeño relativo de la ventaja o desventaja estructural asociada a la actividad. Este ejercicio expresa cada empresa como su distancia respecto a la media de su sector, medida en desviaciones típicas y reescalada a una media de 50 y una desviación típica de 15. La pregunta que responde es distinta de la del ránking general: quién se sitúa mejor frente a sus pares. Emergen así empresas sobresalientes en sectores intensivos en recursos, a las que el ránking absoluto relega por la huella estructural de su actividad (véanse las líderes sectoriales en el cuadro 15).

Cuadro 15. Líderes intrasector (mayor IIRED ajustado por sector)

Sector	Empresa líder	País	IIRED intrasector	IIRED global	Nº empresas sector
Materiales	Sociedad de Inversiones Pampa Calichera SA	Chile	100,0	86,5	112
Servicios públicos	Dunas Energía SAA	Perú	96,0	96,2	117
Consumo básico	Puig Brands SA	España	91,6	91,8	109
Comunicación	Masorange SL	España	86,7	92,4	46
Energía	Ultrapar Participações SA	Brasil	85,7	93,8	26
Inmobiliario	Aedas Homes SA	España	82,3	94,0	84
Industria	Corporación de Ferias y Exposiciones SA	Colombia	82,2	89,5	129
Consumo discrecional	Bahema Educação SA	Brasil	81,5	92,8	100
Tecnología	Agile Content SA	España	72,4	99,1	30
Salud	Odontoprev SA	Brasil	71,5	81,0	35
Finanzas	Protecta SA Compañía de Seguros	Perú	64,9	97,4	160

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.
Nota: El índice es estrictamente ambiental y de gestión de recursos.

Digitalización y sostenibilidad operativa

Para aproximar la relación entre digitalización sectorial y sostenibilidad operativa, los sectores anteriormente mencionados se agrupan en cinco categorías según su grado de digitalización (cuadro 16). Se ha de destacar que esta clasificación es independiente del IIRED: no emplea variables ambientales, no inter-

viene en el cálculo del índice y no altera la ponderación de sus dimensiones. Y se trata de una aproximación sectorial, no de una caracterización individual de cada empresa, con las cautelas que ello incorpora.

Cuadro 16. Clasificación sectorial por grado de digitalización

Grupo	Definición	Sectores asignados
Tecnología y telecomunicaciones	Productores de tecnología e infraestructura digital	Tecnología de la información; servicios de comunicación
Pioneras digitales	Sectores con adopción temprana y amplia de modelos digitales	Finanzas; consumo discrecional
Aceleradoras digitales	Sectores con adopción avanzada y creciente de soluciones digitales	Industria; salud
Adoptantes digitales	Sectores con digitalización funcional, pero menos diferencial en su modelo de negocio	Energía; materiales; consumo básico; servicios públicos
Negocios tradicionales	Sectores donde la digitalización tiende a ser menos central en el modelo de negocio	Inmobiliario

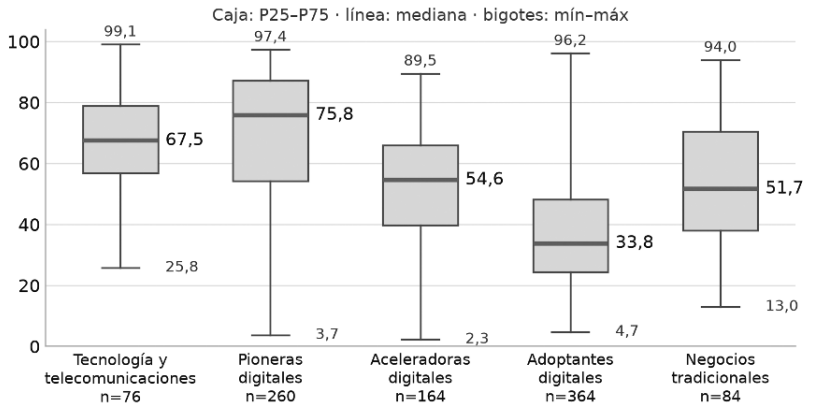
Fuente: Elaboración propia.

Al cruzar esta clasificación con el IIRED, las medianas muestran una asociación positiva entre digitalización sectorial y sostenibilidad operativa, aunque no dibujan un gradiente estrictamente lineal. Parte de esa diferencia procede de la naturaleza física de cada actividad: una empresa de servicios tiende a generar menos huella por unidad de valor por su propio proceso productivo, al margen de su grado de digitalización. La digitalización aparece, por tanto, como un factor asociado, no como causa única de una eficiencia que es ante todo estructural. El gráfico 12 muestra la dispersión dentro de cada grupo. Las pioneras digitales, que reúnen finanzas y consumo discrecional, alcanzan una mediana de 75,8, y tecnología y telecomunicaciones se sitúan en 67,4. Las aceleradoras digitales y los negocios tradicionales ocupan una posición intermedia, con me-

dianas de 54,6 y 51,7, mientras que los adoptantes digitales quedan por detrás, en 33,8. La pertenencia a un grupo marca una tendencia, no un destino: hay empresas eficientes y rezagadas en todos ellos.

Más allá de la dispersión y la no linealidad de los resultados, el análisis apunta con cierta robustez a que la digitalización no genera necesariamente un peor desempeño en términos de sostenibilidad, a pesar de los retos energéticos y de recursos naturales que enfrenta la revolución tecnológica. Es más, empresas pioneras en digitalización son, junto con las empresas de los sectores de tecnología y telecomunicaciones, las mejor situadas. Los cuadros 17 a 21 recogen las diez primeras empresas de cada grupo. Los análisis enfocados en los sectores de tecnología, comunicación, energía y energías renovables se detallan en el anexo (cuadros A1 a A6).

Gráfico 12. Distribución del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales por grupo de intensidad tecnológica



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro 17. Top-10 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Tecnología y telecomunicaciones

#	Empresa	País	Sector	IIRED
1	Agile Content SA	España	Tecnología	99,1
2	Bemobi Mobile Tech SA	Brasil	Tecnología	96,7
3	Allied Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	96,1
4	Ci&T Inc	Brasil	Tecnología	92,7
5	Masorange SL	España	Comunicación	92,4
6	Eletromidia SA	Brasil	Comunicación	89,0
7	Infracommerce CXAAS SA	Brasil	Tecnología	88,1
8	Indra Sistemas SA	España	Tecnología	87,9
9	Seresco SA	España	Tecnología	87,9
10	Nuvini SA	Brasil	Tecnología	87,6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro 18. Top-10 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Pioneras Digitales

#	Empresa	País	Sector	IIRED
1	Protecta SA Compañía de Seguros	Perú	Finanzas	97,4
2	Seguros Vida Security Previsión SA	Chile	Finanzas	96,9
3	Banco Bradesco SA	Brasil	Finanzas	96,7
4	CaixaBank SA	España	Finanzas	96,2
5	Interseguro Compañía de Seguros SA	Perú	Finanzas	96,1
6	Pacífico Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95,6
7	Banco Itaú Chile	Chile	Finanzas	95,1
8	Banco de Occidente SA	Colombia	Finanzas	94,9
9	Peña Verde SAB	México	Finanzas	94,7
10	Mapfre Perú Vida Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	94,7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro 19. Top-10 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Aceleradoras Digitales

#	Empresa	País	Sector	IIRED
1	Corporación de Ferias y Exposiciones SA	Colombia	Industria	89,5
2	Movida Participações SA	Brasil	Industria	89,2
3	Minasmáquinas SA	Brasil	Industria	88,3
4	Brisa Auto Estradas de Portugal SA	Portugal	Industria	84,1
5	Azkoyen SA	España	Industria	84,0
6	Talgo SA	España	Industria	84,0
7	Odontoprev SA	Brasil	Salud	81,0
8	Atrys Health SA	España	Salud	80,8
9	WLM Participacoes e Comercio de Maquinas e Veiculos SA	Brasil	Industria	80,4
10	Fluidra SA	España	Industria	80,3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro 20. Top-10 Índice Iberoamericano Recursos Estratégicos Digitales · Adoptantes digitales

#	Empresa	País	Sector	IIRED
1	Dunas Energía SAA	Perú	Servicios públicos	96,2
2	Ultrapar Participações SA	Brasil	Energía	93,8
3	Puig Brands SA	España	Consumo básico	91,8
4	Vibra Energia SA	Brasil	Energía	88,8
5	Sociedad de Inversiones Pampa Calichera SA	Chile	Materiales	86,5
6	Grenergy Renovables SA	España	Servicios públicos	85,8
7	Holaluz-Clidom SA	España	Servicios públicos	84,1
8	Deoleo SA	España	Consumo básico	83,9
9	Audax Renovables SA	España	Servicios públicos	81,4
10	Lavoro Ltd	Brasil	Consumo básico	80,2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro 21. Top-10 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Negocios Tradicionales

#	Empresa	País	Sector	IIRED
1	Aedas Homes SA	España	Inmobiliario	94,0
2	Trisul SA	Brasil	Inmobiliario	91,9
3	Helbor Empreendimentos SA	Brasil	Inmobiliario	91,8
4	Alphaville SA	Brasil	Inmobiliario	83,1
5	RNI Negocios Imobiliarios SA	Brasil	Inmobiliario	82,9
6	Arima Real Estate SOCIMI SA	España	Inmobiliario	78,8
7	Metrovacesa SA	España	Inmobiliario	78,2
8	Tecnisa SA	Brasil	Inmobiliario	77,7
9	Plano & Plano Desenvolvimento Imobiliario SA	Brasil	Inmobiliario	76,4
10	Corpovael SAB de CV	México	Inmobiliario	76,2

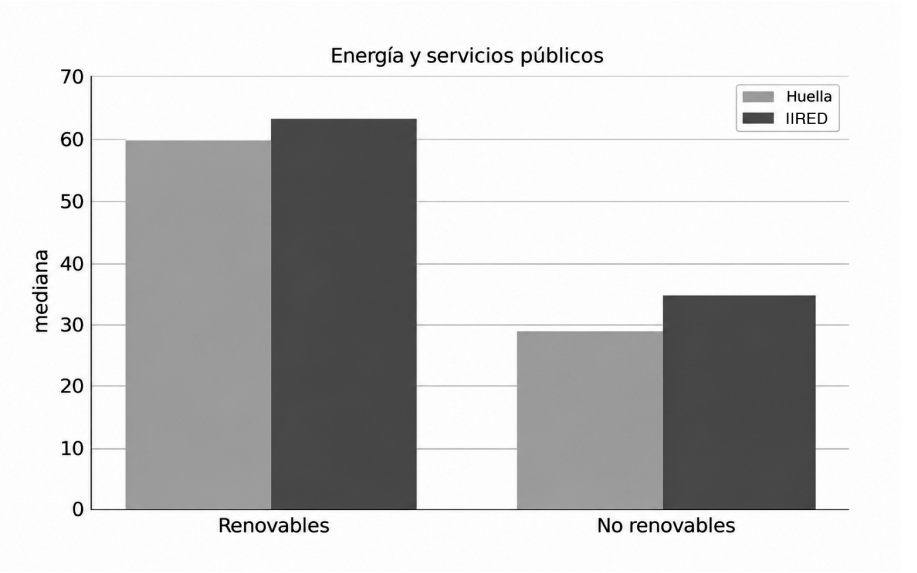
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Energías renovables y huella operativa

La energía es el punto de unión entre digitalización, recursos y crecimiento. Dentro de energía y servicios públicos, las generadoras de energía renovable puras presentan mejores resultados que las empresas fósiles y las compañías tradicionales del sector. Su IIRED mediano es de 63 frente a 35 y su huella mediana de 60 frente a 29 (gráfico 13). La generación limpia reduce la intensidad de carbono y mejora la huella operativa, una eficiencia con implicaciones competitivas.

La comparación exige cautela por el reducido tamaño del subconjunto —trece generadoras renovables puras en la muestra principal— y por la heterogeneidad interna del grupo. Algunas renovables jóvenes, intensivas en inversión y con ingresos todavía reducidos, presentan huellas más modestas. Aun así, la distancia respecto al resto del complejo energético es relevante.

Gráfico 13. Renovables frente a no renovables en energía y servicios públicos (medianas)



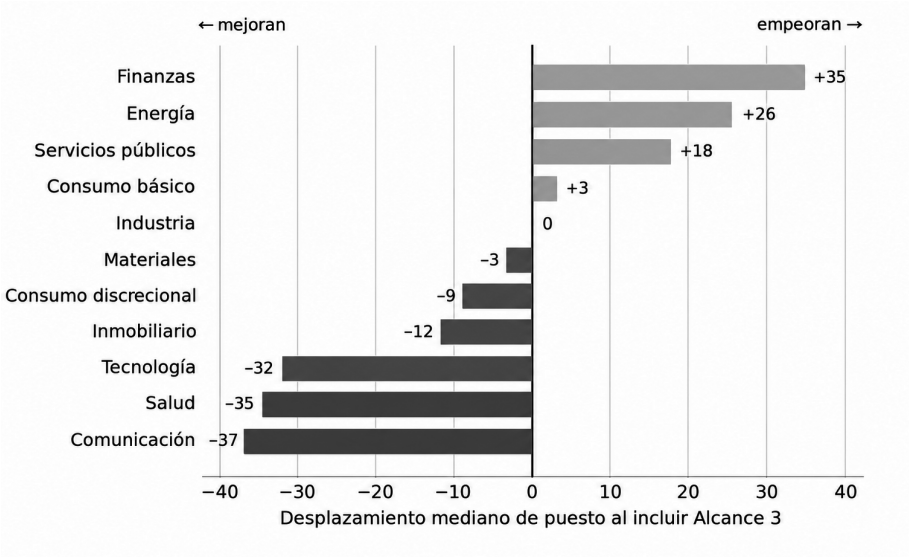
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.
Nota: Renovables definidas como generadoras de energía renovable puras (identificadas por actividad), no como categoría sectorial.

La huella de sostenibilidad de la cadena de valor

El IIRED se calcula sobre emisiones operativas. De forma complementaria, el análisis incorpora el alcance 3 (esto es, las emisiones de la cadena de valor) para observar cómo cambia la posición relativa de sectores y empresas al ampliar la frontera climática. Las medianas de los grupos se aproximan: las pioneras digitales, con un fuerte componente financiero, caen de 75,8 a 70,0, mientras que los grupos más intensivos en recursos ascienden ligeramente. El reordenamiento se concentra en unos pocos sectores y el orden general se mantiene, con una correlación de rangos de Spearman de 0,978 respecto al IIRED.

El gráfico 14 precisa dónde se concentra el desplazamiento sectorial al incluir el alcance 3. Finanzas es el sector que más retrocede, unos 35 puestos en la mediana, por el peso de las emisiones financiadas. Energía y servicios públicos también pierden posiciones, en este caso por las emisiones asociadas a la cadena de valor y al uso de sus productos. En sentido contrario, salud, comunicación y tecnología ganan posiciones, porque su impacto indirecto es menor. La ventaja de los sectores ligeros se estrecha cuando la medición alcanza toda la cadena.

Gráfico 14. Efecto sobre el IIRED de incluir el alcance 3 en la posición de cada sector (desplazamiento mediano de puesto)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI y de la extensión con alcance 3 (peso 0,12). Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

El alcance 3 atenúa la ventaja operativa de los sectores con menor intensidad de recursos, porque buena parte de su impacto se concentra en la cadena de valor. La frontera de la sostenibilidad corporativa se desplaza así aguas arriba y aguas abajo, hacia la medición y la gestión de unas emisiones que todavía se reportan de forma heterogénea.

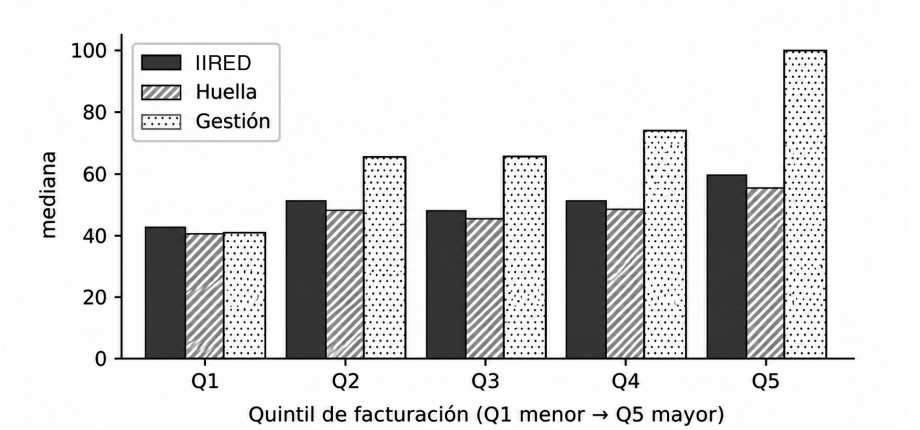
Tamaño, edad, gestión y eficiencia ambiental

El tamaño influye, pero menos de lo que suele suponerse. Las empresas grandes obtienen puntuaciones algo mejores, y el motor de esa diferencia es la gestión, no la huella (gráfico 15). Del primer al quinto quintil de facturación, la mediana de gestión asciende de 42 a 100, mientras que la de huella apenas pasa de 41 a 57. La eficiencia física no es un privilegio de las grandes y está al alcance de empresas de cualquier tamaño. Lo que crece con la dimensión es la capacidad institucional para dotarse de políticas, objetivos y sistemas de reporte.

El análisis no controla por la antigüedad de la empresa. Esta dimensión podría ser relevante en compañías jóvenes intensivas en inversión, donde los ingresos aún no reflejan plenamente la capacidad instalada. Su incorporación

permitiría distinguir mejor entre desempeño ambiental y ciclo de maduración empresarial. El apoyo público debería centrarse en la capacidad de gestión de las pymes más jóvenes, sin convertir el menor tamaño en penalización. El cuadro 22 recoge las diez primeras empresas de mayor facturación; el top-50 de ese grupo aparece en el anexo (cuadro A2).

Gráfico 15. Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales, huella y gestión por quintil de facturación (medianas)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Síntesis de resultados e implicaciones

El IIRED ordena la sostenibilidad corporativa desde la eficiencia en el uso de recursos. Las primeras posiciones corresponden, en general, a empresas ligeras en recursos; dentro de cada sector aparecen márgenes claros de eficiencia; la energía limpia mejora la posición dentro del complejo energético; y el tamaño pesa sobre todo por la gestión, no por una operación intrínsecamente más limpia. La ordenación es robusta frente a perturbaciones razonables de los pesos y depende mucho más de la actividad que de la geografía. La sostenibilidad operativa se perfila como una dimensión de competitividad, no como una restricción externa al crecimiento.

De este diagnóstico se derivan tres prioridades. La primera es una política industrial 4.0 que acompañe la transformación productiva verde y digital, con energía limpia, firme y competitiva como base. La segunda es una gobernanza de la economía digital asentada en la transparencia y capaz de extender la me-

Cuadro 22. Empresas grandes líderes en el Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales: top-10 entre empresas de mayor facturación (quintiles 4 y 5)

#	Empresa	País	Sector	IIRED
1	Banco Bradesco SA	Brasil	Finanzas	96,7
2	CaixaBank SA	España	Finanzas	96,2
3	Allied Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	96,1
4	Pacífico Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95,6
5	Banco Itaú Chile	Chile	Finanzas	95,1
6	Banco de Occidente SA	Colombia	Finanzas	94,9
7	Peña Verde SAB	México	Finanzas	94,7
8	Banco da Amazonia SA	Brasil	Finanzas	94,6
9	Mapfre SA	España	Finanzas	94,1
10	Aedas Homes SA	España	Inmobiliario	94,0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

dición a la cadena de valor. La tercera es una agenda de medición, reporte y evaluación de la sostenibilidad corporativa sencilla, comparable y centrada en los recursos físicos, entendida como instrumento de competitividad más que de cumplimiento, con apoyo específico a las pymes para cerrar su brecha de gestión. Se profundizará sobre esto en el capítulo 4.

3. Más allá del índice. Gobernanza, buenas prácticas empresariales y alianzas público-privadas en Iberoamérica para una revolución digital verde

La transición hacia una IA sostenible no depende únicamente de nuevas regulaciones ni de avances tecnológicos aislados, sino también de liderazgo institucional, visión empresarial y una dinámica de competencia en la que gobiernos y compañías compitan por situarse a la vanguardia de la sostenibilidad. Frente a una lógica de cumplimiento mínimo, debería consolidarse una auténtica *race to the top*: una carrera en la que la eficiencia energética, la descarbonización, la transparencia y la innovación se vean como fuentes de ventaja competitiva, atracción de inversión, retención de talento y creación de valor.

Esta evolución resulta especialmente relevante en un momento en que la expansión de IA multiplica simultáneamente las oportunidades económicas y las exigencias sobre infraestructuras energéticas, recursos naturales y sistemas de gobernanza. Como se ha argumentado a lo largo de este libro, la *IA verde* no surgirá de manera espontánea. Será el resultado de decisiones estratégicas que integren innovación tecnológica, inversión en energías limpias, nuevos modelos de negocio y una gobernanza y marcos regulatorios capaces de alinear incentivos públicos y privados.

A continuación, se presenta una selección ilustrativa de iniciativas que muestran cómo esta transformación ya ha comenzado en Iberoamérica. Se incluyen inicialmente experiencias clave de gobernanza pública en incentivos condicionales, compras públicas y ciberseguridad, así como alianzas público-privada y del sector privado con academia para acelerar el despliegue de una infraestructura digital más eficiente y sostenible.

No obstante, el protagonismo debe corresponder a las empresas, cuyos compromisos e innovaciones están redefiniendo los estándares del sector. Los casos seleccionados ocupan posiciones destacadas en el Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI, como líderes globales de los sectores de tecnología y energía. Más que elaborar un catálogo exhaustivo, este apartado pretende ilustrar distintas dimensiones del liderazgo: desde algoritmos que reducen el consumo energético de los centros de datos, hasta nuevos chips de alta eficiencia, métricas de transparencia sobre el consumo de los modelos de IA, inversiones en electricidad libre de carbono o soluciones inspiradas en la naturaleza. En conjunto, estos casos muestran que la carrera tecnológica del futuro se decidirá por quién desarrolla la IA más potente, con menor consumo de recursos, menor huella ambiental y mayor capacidad para generar prosperidad sostenible.

3.1. Gobernanza pública. El Estado como habilitador: reglas claras, permisos ágiles e incentivos condicionados

Dos experiencias recientes en la región ilustran cómo la política pública puede acelerar el despliegue de infraestructura digital sin sacrificar sostenibilidad, apelando a la certidumbre regulatoria y no a la sobrerregulación. Chile lanzó en diciembre de 2024 su Plan Nacional de Data Centers 2024-2030, articulado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación con un enfoque interministerial. El Plan combina una guía pública de permisos críticos para la construcción y operación de centros de datos, criterios técnicos estandarizados de evaluación ambiental en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, una plataforma geoespacial estatal que integra disponibilidad energética, uso de suelo, conectividad y variables socioambientales para orientar la localización de proyectos, y Acuerdos de Producción Limpia voluntarios con la industria (MinCiencia, 2024). Es, en esencia, una política de reducción de incertidumbre: el mayor costo oculto de la inversión en infraestructura.

Brasil, por su parte, lanzó en septiembre de 2025 su Política Nacional de Centros de Datos y el régimen fiscal Redata, que condiciona las exenciones de impuestos federales a cuatro criterios técnicos verificables: abastecimiento eléctrico 100% renovable; eficiencia hídrica con un WUE igual o inferior a 0,05 litros por kilovatio-hora; inversión del 2% en proyectos de investigación y desarrollo en el país; y reserva del 10% de la capacidad de procesamiento para universidades y empresas nacionales (MDIC, 2025). El diseño es relevante para toda la región: con-

vierte el incentivo fiscal en un contrato de reciprocidad, beneficio a cambio de desempeño ambiental y derrame tecnológico local, en lugar de un subsidio incondicional. Ambos casos muestran que la carrera regional por atraer inversión en computación no tiene por qué ser una carrera en estándares ambientales; sino una carrera hacia la excelencia en el uso de recursos.

A estos casos cabe añadir la experiencia colombiana desde una palanca distinta y complementaria: la del Estado digital como habilitador de la inversión. Colombia fue pionera regional al adoptar en 2019 la primera política pública de transformación digital e inteligencia artificial de América Latina (CONPES 3975), actualizada en 2025 con una política nacional de inteligencia artificial (CONPES 4144), y al construir una arquitectura de gobierno digital basada en interoperabilidad, servicios ciudadanos digitales y una lógica de "nube primero" que abarata los costos de transacción de toda la economía digital. En paralelo, sus políticas de seguridad digital (CONPES 3854 de 2016 y 3995 de 2020, con el fortalecimiento de capacidades de respuesta a incidentes) muestran que la confianza es condición de la inversión de largo plazo. La lección regional es que la carrera por atraer cómputo se juega en tres planos que conviene articular: certidumbre de permisos (Chile), reciprocidad de incentivos (Brasil) e institucionalidad digital y de ciberseguridad que dé confianza al inversor (Colombia).

La compra pública como demanda ancla de una digitalización sostenible

El Estado es, en la mayoría de los países iberoamericanos, el mayor comprador individual de tecnología. Esa posición le permite hacer lo que ningún regulador puede por decreto: crear mercado. Incorporar criterios de eficiencia energética, huella de carbono e intensidad hídrica en los acuerdos marco de nube pública y en las licitaciones de servicios de inteligencia artificial convierte la contratación estatal en una palanca de adopción de mejores prácticas sin necesidad de nueva regulación. La lógica es análoga a la de las etiquetas de eficiencia energética y a iniciativas como el *AI Energy Score* descrito a continuación. Si los gobiernos exigen transparencia sobre el consumo de recursos de los servicios digitales que compran, y la premian en la evaluación de ofertas, los proveedores competirán por ofrecerla, y ese estándar permeará después al mercado privado. Para una región que ha modernizado sus agencias de contratación y sus acuerdos marco de nube durante la última década, este es un instrumento de bajo costo fiscal y alto poder de señalización.

La región cuenta ya con la institucionalidad para hacerlo: agencias de compra centralizadas y tiendas virtuales del Estado, y sus acuerdos marco de nube, permiten incorporar criterios de eficiencia energética, huella de carbono y transparencia de consumo directamente en los pliegos, sin necesidad de nueva legislación. El Estado no necesita regular para mover el mercado: le basta con comprar mejor.

Ciberseguridad y resiliencia de la infraestructura energético-digital

La convergencia entre sistema eléctrico e infraestructura digital crea también una superficie de riesgo común: redes inteligentes, centros de control, subestaciones digitalizadas y centros de datos constituyen hoy una infraestructura crítica interdependiente, donde una falla o un ataque en una capa se propaga a la otra. Una agenda de digitalización sostenible debe incorporar la ciberresiliencia como condición de confianza para la inversión de largo plazo: estándares de seguridad para operadores de infraestructura crítica, ejercicios conjuntos público-privados de respuesta a incidentes y cooperación regional, en línea con los marcos que promueven organismos como la OEA y la UIT. Sin seguridad no hay confianza, y sin confianza no hay capital paciente para financiar la infraestructura energético-digital que la región necesita.

En concreto, ello exige extender los estándares de ciberseguridad de infraestructura crítica al perímetro energético-digital, subestaciones digitalizadas, sistemas de control industrial (SCADA) y centros de datos, consolidar equipos de respuesta a incidentes sectoriales y nacionales (CSIRT) con cooperación regional, y realizar ejercicios conjuntos de ciberdefensa. La convergencia entre la red eléctrica y la digital convierte la ciberresiliencia en una política energética, no solo tecnológica.

3.2. Alianzas público-privadas

La AI Governance Disclosure Initiative, lanzada por la UNESCO y la Thomson Reuters Foundation en 2024, propone avanzar hacia esquemas voluntarios de transparencia corporativa sobre el desarrollo y uso de la IA (Thomson Reuters, 2024). La iniciativa ofrece a las empresas un cuestionario gratuito para divulgar información comparable sobre gobernanza de la IA, supervisión humana, calidad y privacidad de los datos, gestión de sesgos, formación de trabajadores, ren-

dición de cuentas e impactos sociales y ambientales de los sistemas de IA. Su fundamento normativo es la Recomendación sobre la Ética de la IA de la UNESCO (2022), que reconoce que la IA responsable no solo debe proteger derechos humanos, privacidad o no discriminación, sino también considerar su impacto ambiental. Desde esta perspectiva, la transparencia sobre la IA debería incorporar progresivamente indicadores relacionados con consumo energético, origen de la electricidad utilizada, intensidad de carbono, uso de agua y eficiencia de la infraestructura digital.

El valor de este enfoque es que no espera a la regulación obligatoria para mejorar la información disponible. El *disclosure* voluntario puede ayudar a crear estándares de facto, facilitar la comparación entre empresas y generar incentivos reputacionales para desarrollar sistemas de IA más eficientes y sostenibles. En una economía donde la IA depende crecientemente de centros de datos, redes y capacidad computacional intensiva en energía, la gobernanza ética debe incluir también una dimensión material: medir y comunicar la huella física de la IA.

Alianza privada con la academia

Una iniciativa particularmente interesante es AI Energy Score, impulsada por Salesforce con Hugging Face, Cohere y la Universidad Carnegie Mellon, con el respaldo del Gobierno de Francia y del Paris Peace Forum (AI Energy Score, 2025). Su objetivo es desarrollar un sistema abierto y estandarizado para evaluar la eficiencia energética de los modelos de IA, de forma similar a las etiquetas de eficiencia utilizadas en electrodomésticos o vehículos. La iniciativa combina la capacidad de innovación del sector privado, el rigor metodológico de la academia y el enfoque de interés público de organizaciones internacionales para construir métricas comparables y transparentes sobre el consumo energético de la IA.

Uno de sus rasgos más relevantes es su carácter voluntario. Los desarrolladores pueden presentar tanto modelos abiertos como propietarios para ser evaluados y, posteriormente, decidir publicar su calificación energética mediante una etiqueta estandarizada de una a cinco estrellas. Este enfoque demuestra que la gobernanza de la IA también puede avanzar mediante iniciativas voluntarias que involucren a empresas, universidades y otros actores del ecosistema, promoviendo la transparencia antes de que existan obligaciones regulatorias. Si logra una adopción significativa, AI Energy Score podría desempeñar un papel similar al de Energy Star, orientando tanto las decisiones de compra como el desarrollo de modelos de IA cada vez más eficientes.

3.3. Buenas prácticas empresariales

Además del potencial de las alianzas de empresas líderes con la academia y con iniciativas públicas, el avance en la digitalización sostenible puede inspirarse en las mejores prácticas que empresas iberoamericanas y globales están implementando en su actividad.

A continuación, se describen brevemente 18 casos iberoamericanos seleccionados con un doble criterio: desempeño destacado en el Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI y diversidad sectorial (tecnología, telecomunicaciones, energía, finanzas y consumo) y geográfica al abarcar Brasil, México, Colombia, Chile y Perú, España y Portugal y el Caribe, este último con un caso regional complementario fuera de la muestra del índice. La selección busca además equilibrio sectorial entre tecnología, energía y finanzas, las tres palancas de la transición digital verde analizadas en este ensayo. Se añaden siete referencias internacionales de los sectores tecnológico y energético (véase una síntesis en el cuadro 23).

Cuadro 23. Buenas prácticas en sostenibilidad 4.0

Empresa	País	Sector	Caso destacado	Destacado en IIRED
Agile Content	España	Tecnología	Software más eficiente para reducir consumo de redes y centros de datos	Eficiencia energética y uso de agua
Bemobi Mobile Tech	Brasil	Tecnología móvil	Servicios digitales que prolongan la vida útil de los smartphones	Gestión de agua
CI&T	Brasil	IA y software	IA para optimizar procesos industriales, logística y mantenimiento	Eficiencia en el uso de energía y bajas emisiones
Indra	España	Tecnología	Ciudades, transporte y ferrocarriles gestionados mediante IA y datos	Bajas emisiones
MasOrange	España	Telecomunicaciones	Redes móviles inteligentes con menor consumo energético	Gestión de agua
Dunas Energía	Perú	Electricidad	Redes eléctricas digitalizadas para reducir pérdidas e integrar renovables	Eficiencia energética y uso de agua

EGE Haina	República Dominicana	Energías renovables	Renovables ante retos de seguridad energética, costo de los combustibles importados y la vulnerabilidad climática en	n.d.
Grenergy Renovables	España	Energías renovables	Solar y baterías a gran escala en Oasis de Atacama (Chile)	Bajas emisiones y gestión de agua
EDP y EDP Renováveis	Portugal / España	Energías renovables	Reconversión de una eléctrica tradicional en plataforma renovable y digital	Políticas de gestión ambiental
Interconexión Eléctrica (ISA)	Colombia / Brasil	Electricidad	Transmisión eléctrica, cuello de botella de IA-energía, en Colombia, Peru Chile y Brasil.	Gestión de agua (Brasil)
Ultrapar Participações	Brasil	Energía	Logística energética digitalizada para ganar eficiencia y reducir emisiones	Bajas emisiones y gestión de agua
Bancolombia	Colombia	Banca	Financiación verde apoyada en análisis digital del riesgo climático	Bajas emisiones
Banco Bradesco	Brasil	Banca	Banca digital y financiación de la transición energética	Combinación equilibrada de bajas emisiones, eficiencias de uso de energía y agua y uso de
CaixaBank	España	Banca	Capital para renovables mediante herramientas digitales y criterios ESG	Bajas emisiones y gestión de agua
Grupo Bursátil Mexicano (GBM)	México	Mercados financieros	Plataformas digitales que canalizan inversión hacia activos sostenibles	Combinación equilibrada de bajas emisiones y eficiencias de uso de energía y agua
Seguros Vida Security Previsión	Chile	Seguros	Modelización digital de riesgos climáticos y resiliencia financiera	Combinación equilibrada de bajas emisiones y eficiencias de uso de energía y agua
Natura & Co	Brasil	Cosmética	Trazabilidad digital para proteger la biodiversidad amazónica	Bajas emisiones y gestión de agua

Puig Brands	España	Cosmética	Producción y logística digitalizadas para ahorrar energía y materiales	Combinación equilibrada de bajas emisiones, eficiencias de uso de energía y agua y uso de renovables
AWS	EE.UU.	Nube	Centros de datos optimizados y nube alimentada por renovables	n.d.
Intel	EE.UU.	Semiconductores	Chips más eficientes y reutilización avanzada de agua industrial.	n.d.
Microsoft	EE.UU.	Nube IA	Centros de datos impulsados por renovables y refrigeración innovadora	n.d.
NVIDIA	EE.UU.	Semiconductores	GPUs de alta eficiencia para acelerar la IA con menor energía por operación	n.d.
Salesforce	EE.UU.	Software	AI Energy Score para medir la eficiencia energética de la IA	n.d.
Ørsted	Dinamarca	Energías renovables	IA y sensores para optimizar parques eólicos marinos	n.d.
Schneider Electric	Francia	Gestión energética	Edificios e industrias inteligentes con EcoStruxure	n.d.

Fuente: Elaboración propia.

Casos iberoamericanos seleccionados

Agile Content S.A. (España)

Agile desarrolla plataformas de televisión digital y distribución de vídeo para operadores de telecomunicaciones, un negocio donde la eficiencia del software tiene un impacto directo sobre el consumo energético de la infraestructura. Cada mejora en la compresión de vídeo, la distribución de contenidos, la vir-

tualización o la gestión dinámica de servidores reduce la capacidad de computación necesaria para atender millones de usuarios. En la práctica, optimizar un algoritmo de distribución puede evitar la instalación de nuevos servidores o disminuir la carga de los existentes, reduciendo simultáneamente electricidad, refrigeración y costes operativos. En el IIRED su posición de liderazgo global se basa en su puntuación en eficiencia eléctrica (99,4 sobre 100) y la de uso del agua (98,4). En la era de la IA, la eficiencia computacional será una de las formas más eficaces de reducir la huella energética del crecimiento digital.

Bemobi Mobile Tech S.A. (Brasil)

Las plataformas de Bemobi permiten a operadores y fabricantes ofrecer almacenamiento en la nube, seguridad digital, gestión de aplicaciones y servicios de suscripción que prolongan la vida útil de los teléfonos inteligentes. La huella en el IIRED puntúa 96,2, a lo que se añade una excelente gestión de agua (99,4 sobre 100). La empresa también impulsa la digitalización de servicios financieros, entretenimiento y educación en mercados emergentes, sustituyendo procesos presenciales por soluciones digitales accesibles desde el móvil.

CI&T Inc (Brasil)

CI&T desarrolla soluciones de IA, analítica avanzada y computación en la nube para clientes industriales, financieros y comerciales, donde el principal ahorro ambiental procede de las mejoras que introduce en los procesos de sus clientes. Entre sus proyectos destacan sistemas de mantenimiento predictivo que reducen paradas industriales y consumo energético, modelos de previsión de demanda para disminuir inventarios y desperdicios, y automatización logística basada en datos que optimiza rutas y reduce combustible. Su posición se cimenta en la eficiencia en el uso de energía (97,5 sobre 100) y bajas emisiones (96,8). Paralelamente, CI&T ha avanzado hacia el suministro de electricidad renovable para sus operaciones en Brasil, si bien no se dispone de información en la base de datos del IIRED.

Indra Sistemas S.A. (España)

Los sistemas inteligentes de Indra gestionan redes ferroviarias, tráfico urbano, aeropuertos, puertos y sistemas eléctricos en numerosos países. En ciudades

como Madrid, Lisboa o Bogotá, las plataformas de gestión de movilidad de Indra permiten adaptar semáforos, monitorizar el tráfico en tiempo real y reducir congestión, disminuyendo tanto tiempos de viaje como emisiones de los vehículos. En el ámbito ferroviario, sus sistemas de señalización digital aumentan la capacidad de las líneas sin necesidad de construir nueva infraestructura, mientras que el mantenimiento predictivo reduce averías y optimiza el uso de energía. Indra aplica además gemelos digitales e IA para supervisar infraestructuras críticas y redes eléctricas. Su posición viene fundamentada por sus bajas emisiones (93,3 sobre 100 en el IIRED).

MasOrange S.L. (España)

MasOrange es un ejemplo de cómo las telecomunicaciones se están convirtiendo en un actor central de la transición energética. La compañía utiliza IA para optimizar el funcionamiento de su red móvil, ajustando dinámicamente la potencia de estaciones base y apagando determinados equipos durante periodos de baja demanda, lo cual reduce significativamente el consumo eléctrico sin afectar la calidad del servicio. La modernización hacia fibra óptica y 5G también mejora la eficiencia energética por gigabyte transportado frente a tecnologías anteriores. Al mismo tiempo, la conectividad hace posible la digitalización de edificios inteligentes, redes eléctricas, movilidad conectada y procesos industriales. En el IIRED destaca por su excelente puntuación en gestión de agua (99,4 sobre 100).

Dunas Energía S.A.A. (Perú)

Dunas Energía muestra cómo la digitalización puede aumentar la eficiencia de los sistemas eléctricos incluso en mercados de tamaño medio, incorporando centros de control digital, telemetría y automatización para supervisar en tiempo real la generación, transmisión y distribución de electricidad. Estas herramientas permiten detectar incidencias con mayor rapidez, reducir pérdidas técnicas y mejorar la continuidad del suministro, especialmente en regiones donde las distancias y la geografía dificultan la operación. La compañía puntúa en el IIRED especialmente alto en el uso de energía (96,6) y sobre todo de agua (98,8 sobre 100) para generar facturación. La digitalización también facilita integrar una mayor proporción de generación renovable en la red y optimizar la planificación del mantenimiento mediante análisis predictivo, si bien no se dis-

pone de información interna en el IIRED. Para América Latina, donde las pérdidas eléctricas siguen siendo elevadas en muchos países, esta digitalización representa una de las inversiones con mayor retorno económico y ambiental.

Grenergy Renovables S.A. (España)

Grenergy se ha convertido en uno de los referentes mundiales en la integración entre energía solar y almacenamiento mediante baterías. Su proyecto Oasis de Atacama, en el norte de Chile, combina 2 gigavatios de generación fotovoltaica con uno de los mayores sistemas de almacenamiento energético del mundo (11 GWh). La operación de estos activos depende de plataformas digitales capaces de prever radiación solar, precios del mercado eléctrico, estado de carga de las baterías y necesidades de la red. La IA y los modelos predictivos permiten decidir cuándo almacenar, cuándo vender electricidad y cómo maximizar el rendimiento de cada instalación. A su vez, dispone del tipo de infraestructura que demandará la expansión de la IA y de los centros de datos. En el IIRED destaca por las bajas emisiones (88,4 sobre 100) y gestión de agua (86,9).

EDP SA y EDP Renováveis S.A. (Portugal y España)

El grupo EDP representa el caso ibérico más completo de reconversión de una eléctrica tradicional en plataforma renovable y digital, con presencia relevante también en Brasil. A través de EDP Renováveis el grupo desarrolla generación eólica y solar a gran escala, mientras su filial de redes avanza en la digitalización de la distribución con contadores inteligentes, telegestión y analítica para reducir pérdidas e integrar generación distribuida. La combinación de renovables, redes inteligentes y almacenamiento posiciona al grupo como proveedor natural de electricidad limpia y firme que demandará la infraestructura de IA a ambos lados del Atlántico. En el IIRED destaca en las políticas de gestión ambiental (energía, agua y emisiones, 75 y 100 sobre 100 respectivamente).

Interconexión Eléctrica S.A. ISA (Colombia)

ISA ilustra una palanca menos visible pero probablemente la más determinante de la ecuación IA-energía: la transmisión eléctrica. Como uno de los mayores transportadores de energía de América Latina, con redes en Colombia, Perú, Chile y Brasil, ISA opera la columna vertebral que posibilita conectar la nueva

generación renovable con la demanda de centros de datos, industria y ciudades. La compañía ha digitalizado progresivamente su operación mediante subestaciones inteligentes, monitoreo en tiempo real, y el uso de drones, sensores y analítica para el mantenimiento predictivo de miles de kilómetros de líneas, reduciendo indisponibilidad, pérdidas y costos operativos. En el IIRED, ISA Energía Brasil destaca por la gestión de agua (83,3 sobre 100).

Ultrapar Participações S.A. (Brasil)

Ultrapar constituye un ejemplo interesante de cómo empresas tradicionales del sector energético pueden utilizar la digitalización para acelerar su transformación. A través de Ultracargo, la compañía ha digitalizado la gestión de terminales logísticos y operaciones portuarias, utilizando sensores, automatización y sistemas avanzados de monitorización para mejorar la eficiencia del almacenamiento y movimiento de combustibles y productos químicos. En el IIRED destaca por las bajas emisiones (95,6) y especialmente gestión de agua (97,9 sobre 100). Paralelamente, la empresa explora nuevas oportunidades vinculadas a biocombustibles, electrificación y soluciones energéticas de menor intensidad de carbono

Bancolombia S.A. (Colombia)

Bancolombia demuestra que el sistema financiero puede acelerar la transición energética cuando combina financiación, datos y digitalización. La entidad ha financiado proyectos de energía solar, eólica, movilidad eléctrica y eficiencia energética, al tiempo que incorpora criterios climáticos en la evaluación del riesgo crediticio y en la estructuración de productos financieros sostenibles. El análisis digital de datos permite identificar sectores con mayor exposición al cambio climático y orientar el capital hacia inversiones con menor huella ambiental. Más allá de sus propias operaciones, su impacto reside en su capacidad para movilizar financiación hacia proyectos que reducen emisiones y fortalecen la resiliencia económica. En el IIRED destacan sus bajas emisiones (95,2 sobre 100).

Banco Bradesco S.A. (Brasil)

Bradesco ha utilizado la digitalización para transformar simultáneamente la experiencia bancaria y la gestión de la sostenibilidad. La expansión de canales

digitales y de la plataforma Next ha reducido millones de operaciones presenciales, disminuyendo el consumo de papel, transporte y recursos asociados a la actividad bancaria tradicional. Paralelamente, la entidad ha reforzado su estrategia de financiación sostenible mediante líneas específicas para energías renovables, agricultura sostenible e infraestructura resiliente. En el IIRED muestra una de las combinaciones más equilibradas de bajas emisiones (98,2), eficiencias de uso de energía y agua, y uso de renovables (94,7 sobre 100). Uno de los avances más relevantes ha sido la incorporación de herramientas de análisis de datos para evaluar riesgos ambientales y climáticos dentro del proceso crediticio. Estas capacidades permiten identificar proyectos con mejor desempeño ambiental y anticipar riesgos derivados de fenómenos extremos o cambios regulatorios.

CaixaBank S.A. (España)

CaixaBank ha desarrollado plataformas digitales que permiten integrar información financiera y criterios ESG en la concesión de crédito, facilitando la financiación de proyectos de energías renovables, rehabilitación energética de edificios, movilidad eléctrica y pymes en proceso de descarbonización. La automatización también ha reducido el uso de papel y desplazamientos mediante contratación digital, firma electrónica y banca móvil. En el IIRED destaca, como otros líderes financieros, por bajas emisiones (96,9) y gestión de agua (97,4 sobre 100). Además, CaixaBank ha impulsado financiación sostenible para parques eólicos y solares, infraestructuras de transporte limpio y proyectos de economía circular en España y Portugal.

Grupo Bursátil Mexicano GBM S.A. (México)

Grupo Bursátil Mexicano ilustra una dimensión menos visible de la transformación sostenible de las finanzas, la digitalización de los mercados de capitales. A través de plataformas de inversión completamente digitales, ha ampliado el acceso de personas y empresas a productos financieros, reduciendo procesos presenciales y facilitando la movilización de ahorro hacia inversiones productivas. El desarrollo de instrumentos financieros vinculados a criterios ambientales, sociales y de gobernanza ha ampliado las oportunidades de financiación para proyectos de infraestructura sostenible, energías renovables y empresas con mejores prácticas climáticas. En el IIRED presenta una combinación equilibrada de control de emisiones y notables eficiencias en el uso de energía y agua (95,8 y 94,2 sobre 100 respectivamente).

Seguros Vida Security Previsión S.A. (Chile)

La digitalización de procesos de contratación, gestión documental y atención al cliente ha reducido tiempos de respuesta, uso de papel y costes administrativos. Sin embargo, el mayor potencial se encuentra en la utilización de datos para evaluar riesgos asociados a fenómenos naturales, salud y longevidad. Las aseguradoras desempeñan un papel esencial en la adaptación climática porque ayudan a cuantificar riesgos y facilitan la recuperación tras desastres naturales. El análisis geoespacial, la IA y la modelización de eventos extremos permiten diseñar productos más ajustados al riesgo y mejorar la capacidad de respuesta frente a incendios, inundaciones o terremotos. En una región especialmente vulnerable al cambio climático como América Latina y el Caribe, la digitalización del sector asegurador es fundamental para aumentar la resiliencia económica. En el IIRED, la compañía presenta la combinación más equilibrada de control de emisiones y notables eficiencias en el uso de energía y agua (97,5, 95,7 y 96,5 sobre 100 respectivamente).

Natura & Co Holding S.A. (Brasil)

Natura es uno de los ejemplos latinoamericanos más paradigmáticos de cómo la biodiversidad puede convertirse en una ventaja competitiva gracias a la digitalización. La compañía utiliza plataformas digitales de trazabilidad para seguir el origen de ingredientes amazónicos procedentes de cientos de comunidades proveedoras, garantizando prácticas sostenibles, cumplimiento ambiental y conservación de los ecosistemas. Esta información permite gestionar cadenas de suministro complejas con un nivel de transparencia difícilmente alcanzable hace apenas una década. La empresa complementa esta estrategia con programas de reducción de emisiones (82,5 sobre 100 en el IIRED), utilización creciente de electricidad renovable, envases reutilizables y gestión eficiente del agua en sus plantas industriales.

Puig Brands S.A. (España)

Puig es una empresa global de perfumería y cosmética que utiliza la digitalización para reducir el impacto ambiental de una cadena de suministro altamente internacionalizada. Sus sistemas de planificación permiten optimizar la producción y reducir excedentes, mientras que herramientas de trazabilidad digital

facilitan conocer el origen de ingredientes naturales y mejorar el control sobre proveedores y procesos industriales. La compañía ha reforzado la eficiencia energética de sus centros de producción mediante automatización, monitorización de consumos y contratación de electricidad renovable, al tiempo que desarrolla programas para reducir el consumo de agua y avanzar hacia envases más circulares. En el IIRED muestra que el equilibrio entre control de emisiones, uso de renovables y eficiencias en el uso de energía y agua es posible fuera del sector financiero (95,0 sobre 100 en emisiones en el IIRED).

Otros casos regionales fuera del IIRED

Empresa Generadora de Electricidad EGE Haina S.A. (República Dominicana)

EGE Haina aporta la perspectiva de los sistemas insulares del Caribe, donde la seguridad energética, el costo de los combustibles importados y la vulnerabilidad climática hacen que la transición sea una agenda de competitividad y resiliencia. La empresa se ha consolidado como uno de los principales generadores renovables del Caribe, con un portafolio creciente de parques eólicos y solares cuya operación depende de plataformas digitales de pronóstico, despacho y gestión híbrida de generación. Para las economías insulares, que enfrentan los costos eléctricos más altos de la región, cada punto de penetración renovable gestionado con inteligencia artificial se traduce en menor factura de importación, mayor estabilidad de precios y mejor posición para atraer inversión digital y turística.

Líderes globales tecnológicos y energéticos

Amazon Web Services (AWS) (EE.UU.)

Los centros de datos de Amazon Web Services utilizan sistemas avanzados de virtualización que elevan la utilización de los servidores, permitiendo que múltiples clientes compartan una misma infraestructura con un consumo energético muy inferior al de centros de datos tradicionales. AWS complementa esta estrategia con IA para optimizar la refrigeración, la distribución de cargas de trabajo y el mantenimiento de sus instalaciones. La compañía es, además, uno de los mayores compradores corporativos de electricidad renovable del mundo, con inversiones en cientos de proyectos solares y eólicos que suministran energía a sus operaciones. Paralelamente desarrolla iniciativas para reducir el con-

sumo de agua mediante nuevos sistemas de refrigeración y el uso de agua reciclada en determinadas instalaciones.

Intel (EE.UU.)

Intel se ha fijado como objetivo que cada nueva generación de procesadores busque ofrecer más capacidad de computación consumiendo menos electricidad, un objetivo crítico cuando la IA multiplica la demanda de procesamiento. Las arquitecturas Intel Xeon incorporan aceleradores específicos para IA que permiten ejecutar determinados modelos con menor consumo energético que soluciones generalistas, mientras que herramientas como Intel Tiber ayudan a optimizar la utilización de infraestructuras de computación. La empresa también ha reducido significativamente su consumo de agua mediante sistemas avanzados de reutilización en fábricas de Arizona, Oregón e Israel, donde recupera miles de millones de litros anualmente para procesos industriales. En paralelo, sus plantas incrementan el uso de electricidad renovable y automatización para mejorar la eficiencia energética.

Microsoft (EE.UU.)

Microsoft se ha convertido en uno de los laboratorios más avanzados para integrar IA, centros de datos y energía limpia. La compañía ha firmado contratos de compra de electricidad renovable que superan los 30 GW en distintos mercados, impulsando nueva capacidad solar y eólica en Estados Unidos, Europa y Asia. Paralelamente desarrolla su iniciativa 24/7 Carbon-Free Energy, cuyo objetivo consiste en abastecer cada centro de datos con electricidad libre de carbono en cada hora del día, en lugar de compensar emisiones mediante balances anuales. En el ámbito tecnológico, Microsoft está desplegando refrigeración líquida de circuito cerrado para los servidores de IA, eliminando el consumo de agua durante la operación normal de muchos de sus nuevos centros de datos. También reutiliza calor residual para redes de calefacción urbana en países nórdicos y aplica inteligencia artificial para optimizar la ocupación de servidores y reducir energía desaprovechada.

NVIDIA (EE.UU.)

NVIDIA es uno de los principales impulsores de la eficiencia computacional. Cada nueva generación de GPU incrementa sustancialmente el rendimiento

por vatio, permitiendo entrenar y ejecutar modelos de IA con menos electricidad por operación realizada. Arquitecturas como Blackwell incorporan mejoras en memoria, interconexión y gestión energética que reducen el coste energético del cálculo intensivo, un aspecto decisivo ante el crecimiento exponencial de la demanda de IA. Además, la empresa también desarrolla plataformas de gemelos digitales mediante NVIDIA Omniverse, utilizadas para diseñar fábricas, redes eléctricas, edificios y centros de datos antes de construirlos, optimizando materiales, energía y costes. Sus soluciones se emplean para gestionar redes eléctricas, automatizar procesos industriales y acelerar la investigación científica.

Salesforce (EE.UU.)

Salesforce ha trasladado la sostenibilidad desde la gestión interna hacia el propio diseño de la inteligencia artificial. En 2025 presentó AI Energy Score, desarrollado junto con Hugging Face, Carnegie Mellon University y el AI Energy Council, el primer sistema abierto para comparar el consumo energético de modelos de IA utilizando una metodología homogénea. La compañía complementa esta iniciativa con Net Zero Cloud, una plataforma que ayuda a organizaciones públicas y privadas a medir emisiones, consumo energético, cadenas de suministro y riesgos climáticos utilizando analítica avanzada e inteligencia artificial.

Schneider Electric (Francia)

Schneider Electric representa probablemente el mejor ejemplo mundial de cómo la digitalización puede reducir el consumo energético de edificios, industrias y ciudades. Su plataforma EcoStruxure conecta sensores, equipos eléctricos e inteligencia artificial para monitorizar en tiempo real consumos, detectar ineficiencias y optimizar automáticamente climatización, iluminación y procesos industriales. Estas soluciones se utilizan en hospitales, aeropuertos, centros de datos, fábricas y edificios comerciales de más de un centenar de países. En el sector de los centros de datos, Schneider desarrolla sistemas inteligentes de distribución eléctrica, refrigeración y gestión energética que permiten reducir significativamente el consumo y aumentar la fiabilidad de infraestructuras críticas. La empresa también participa en proyectos de redes inteligentes y microrredes que integran generación solar, baterías y vehículos eléctricos en campus industriales y ciudades.

Ørsted (Dinamarca)

Ørsted ilustra cómo la revolución digital está transformando la producción de energía renovable a gran escala. Como líder mundial en energía eólica marina, la empresa utiliza miles de sensores instalados en turbinas y plataformas para supervisar continuamente vibraciones, temperatura, desgaste y condiciones meteorológicas. La IA analiza estos datos para anticipar averías, programar mantenimiento predictivo y maximizar la producción de electricidad, reduciendo desplazamientos y costes de operación en instalaciones situadas a decenas de kilómetros de la costa. Parques como Hornsea, en Reino Unido, emplean estas herramientas digitales para mejorar la disponibilidad de las turbinas y optimizar su integración con la red eléctrica. La empresa también desarrolla soluciones para combinar eólica marina, almacenamiento, hidrógeno verde y redes inteligentes, configurando sistemas energéticos mucho más flexibles.

4. Conclusiones y ejes de acción para un impulso digital sostenible iberoamericano: política industrial 4.0, transparencia y ESG renovado

Este libro ha analizado la sostenibilidad en la economía digital desde una perspectiva integrada, combinando el análisis macroeconómico, las prácticas empresariales y las implicaciones para las políticas públicas. Se ha mostrado cómo la expansión de la IA, los centros de datos y la digitalización están modificando los determinantes tradicionales de la competitividad. La disponibilidad de electricidad asequible, fiable y limpia, la eficiencia en el uso de la energía y del agua, la transparencia en la medición de impactos y la capacidad para incorporar la sostenibilidad en la estrategia empresarial se perfilan como factores crecientemente decisivos para el crecimiento y la productividad. Esta transformación ofrece a Iberoamérica una oportunidad singular para aprovechar sus ventajas comparativas en energías renovables, desarrollar infraestructuras digitales sostenibles y participar con mayor valor agregado en las nuevas cadenas globales vinculadas a la inteligencia artificial.

En particular, se destacan cuatro contribuciones complementarias originales que convergen en una misma conclusión. En primer lugar, el ejercicio macroeconómico de proyección confirma que el impacto de la digitalización sobre el crecimiento de América Latina y el Caribe depende cada vez más de la capacidad de expandir simultáneamente el capital tecnológico y la infraestructura eléctrica que lo sostiene. Productividad y sostenibilidad avanzan conjuntamente cuando la inversión en tecnologías digitales va acompañada de un suministro energético suficiente, eficiente y limpio. En segundo lugar, el libro revisa los marcos tradicionales de sostenibilidad corporativa y propone una actualización del enfoque ESG adaptada a la economía de la IA, incorporando dimen-

siones como la eficiencia computacional, la intensidad energética, la gestión del agua y la transparencia sobre el uso de recursos. En tercer lugar, se presenta un Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales (IIRED) Fundación Carolina-ARGIA-Clarity AI construido a partir de 24 indicadores de más de 1.300 empresas de España, Portugal y América Latina, que permite identificar de forma sistemática a las organizaciones que combinan liderazgo empresarial con un mejor desempeño ambiental. Finalmente, las fichas resumen de algunas de las empresas mejor posicionadas identifican prácticas concretas y replicables en ámbitos como la eficiencia de los centros de datos, el desarrollo de hardware y algoritmos menos intensivos en recursos, la contratación de energías renovables, la gestión hídrica, la gobernanza de la IA y la transparencia corporativa.

Estas cuatro líneas de evidencia confirman que la sostenibilidad es un factor de competitividad en la economía digital. Las empresas y los países que logren producir más inteligencia utilizando menos energía y menos agua, con menores emisiones estarán en mejores condiciones para atraer inversión, aumentar su productividad y consolidar ventajas competitivas duraderas en la nueva economía de la IA.

4.1. Tres prioridades para un impulso digital sostenible: política industrial 4.0, transparencia y ESG renovado

A lo largo de este ensayo hemos sostenido que la IA representa simultáneamente una revolución tecnológica, una transformación productiva y un desafío energético. Su capacidad para aumentar la productividad, acelerar la innovación y crear nuevas oportunidades económicas es extraordinaria. Sin embargo, también lo son sus necesidades crecientes de infraestructura, electricidad, agua y recursos naturales. Por ello, una cuestión fundamental es asegurar que dicha transformación sea compatible con la sostenibilidad ambiental, la competitividad empresarial y el bienestar social.

La buena noticia es que estas dimensiones no son necesariamente contradictorias. La experiencia histórica demuestra que las mayores olas de innovación suelen generar inicialmente nuevas presiones sobre los recursos, pero también crean herramientas para gestionarlos de forma más eficiente. La IA puede incrementar el consumo energético, pero también puede optimizar redes eléctricas. Puede requerir grandes centros de datos, pero también puede reducir desperdicios industriales, mejorar la logística y aumentar la productividad de

sectores enteros. El reto consiste en diseñar instituciones, incentivos y políticas que permitan maximizar estos beneficios y minimizar sus costes.

Sobre esta base, se proponen tres áreas prioritarias de acción: una «política industrial 4.0» orientada a la transformación productiva en América Latina y el Caribe e Iberoamérica, avances en la gobernanza de la economía digital basada en la transparencia y una renovación del enfoque ESG que lo convierta en un instrumento de competitividad y no únicamente de cumplimiento regulatorio.

Política industrial 4.0 para una economía digital sostenible

La primera prioridad consiste en reconocer que la revolución de la IA es no solo una transformación tecnológica sino una transformación industrial. Durante demasiado tiempo, las políticas digitales se han concebido como políticas sectoriales centradas en telecomunicaciones, innovación o emprendimiento tecnológico. Sin embargo, la IA está alterando los procesos productivos de prácticamente todos los sectores económicos, desde la agricultura y la minería hasta la energía, la manufactura, la logística o los servicios financieros. Esto exige una visión mucho más integrada, cercana a lo que la CEPAL denomina una «política de transformación digital productiva», capaz de coordinar infraestructura, innovación, financiamiento, talento y adopción tecnológica para impulsar un cambio estructural sostenible (CEPAL, 2024).

Iberoamérica se encuentra en una posición particularmente interesante para aprovechar esta oportunidad. A diferencia de otras revoluciones tecnológicas, la región llega a esta transición con niveles relativamente elevados de adopción digital y una población joven familiarizada con las nuevas tecnologías. Doce de los centros de *startups* más dinámicos del mundo, considerando cantidad, calidad y entorno empresarial, están ubicados en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú. Además, cuenta con abundantes recursos energéticos renovables y una creciente experiencia empresarial en sectores estratégicos, así como con ventajas naturales difíciles de replicar: disponibilidad de energía hidroeléctrica, solar y eólica, potencial para producir hidrógeno verde, biodiversidad única y una posición geográfica favorable para desarrollar nuevas infraestructuras digitales.

Estas características configuran una nueva ventana verde de oportunidad. En la economía de la IA, la disponibilidad de energía limpia, conectividad digital y talento especializado puede ser tan importante como el acceso al capital. Además, las corporaciones líderes en centros de datos, instalaciones de computación avanzada y las cadenas de valor asociadas a la IA buscan cada vez más

regiones capaces de ofrecer electricidad competitiva, estabilidad regulatoria y recursos humanos cualificados. Y las regiones seguidoras como América Latina y el Caribe pueden dar saltos de desarrollo y aproximarse a la frontera digital verde de manera expedita (Lema, Fu y Rabellotti, 2020). Esta oportunidad responde a un cambio más profundo en la economía mundial. La transición hacia una economía descarbonizada está redefiniendo las fuentes de ventaja competitiva y las estrategias de desarrollo productivo. La sostenibilidad es no solo un objetivo ambiental sino también un componente central de la política industrial, donde el acceso a energía limpia, capacidades tecnológicas e instituciones eficaces determina cada vez más la capacidad de los países para atraer inversión, desarrollar nuevas industrias e integrarse en las cadenas globales de valor (Lebdioui, 2024).

Para ello, la política industrial 4.0 debe articular tres dimensiones que tradicionalmente han operado por separado: infraestructura digital, estrategia energética y desarrollo de capital humano. En este contexto cobra especial relevancia la propuesta de impulsar tres "I" para el desarrollo regional: IA industrial, integración e inteligencia de la naturaleza.

• La IA industrial implica utilizar la IA para aumentar la productividad de sectores donde la región ya posee ventajas comparativas relevantes, como agricultura, energía, minería, manufactura avanzada, turismo o servicios financieros. La región difícilmente competirá con Estados Unidos o China en volumen de inversión o capacidad computacional absoluta. Pero sí puede competir en sostenibilidad, especialización sectorial y disponibilidad de recursos estratégicos.

• La integración supone construir mercados digitales más conectados y escalables, capaces de aprovechar economías de escala regionales.

• La inteligencia de la naturaleza implica utilizar la biodiversidad, los recursos naturales y el conocimiento ambiental como fuentes de innovación tecnológica y sostenibilidad. América Latina puede construir su propio modelo de desarrollo digital, un Green AI Valley como se etiquetó uno de los escenarios, donde la ventaja competitiva surja de la combinación entre energía limpia, infraestructura digital y aplicaciones industriales de alto valor añadido (Melguizo y Muñoz, 2025).

La escala de la oportunidad exige una ambición inversora equivalente. Nuestras estimaciones sugieren que el escenario Green AI Valley podría requerir 1.024 mil millones de dólares de stock tecnológico (730 mil millones adicionales sobre

el base) y 175 mil millones en generación y redes eléctricas (111 mil millones adicionales), acumulados entre 2026 y 2035. Una inversión insuficiente o tardía en generación, transmisión y conexión puede dejar infrautilizados centenares de miles de millones de dólares de capital tecnológico y reducir sustancialmente su impacto sobre la productividad y el crecimiento.

Por ello, una dimensión particularmente relevante es la coordinación entre política digital y la política eléctrica. La atracción de inversión tecnológica exige conectividad, regulación, capital humano, generación adicional, redes capaces de absorber nueva demanda y procedimientos de conexión previsibles. La inversión tecnológica solo se convierte en productividad si el sistema productivo dispone de las condiciones materiales y laborales para utilizarla. A futuro, la posibilidad de convertir a América Latina y el Caribe en un *hub* tecnológico depende de esa conversión de recursos en capacidad eléctrica efectiva.

Esa coordinación entre política digital y eléctrica dispone de tres instrumentos concretos que la región ya empieza a ensayar y que deberían generalizarse.

• Ventanillas únicas, guías de permisos y criterios ambientales estandarizados para la infraestructura energético-digital, siguiendo el modelo del Plan Nacional de Data Centers de Chile.

• Incentivos condicionados a desempeño verificable, electricidad renovable, eficiencia hídrica, inversión en I+D local, como el régimen Redata de Brasil, que convierten la política industrial en un contrato de reciprocidad y no en un subsidio incondicional.

• La compra pública como demanda ancla: incorporar criterios de eficiencia energética y transparencia de huella en los acuerdos marco de nube e inteligencia artificial del Estado, que es el mayor comprador de tecnología de la región.

• La ciberresiliencia de la infraestructura crítica como condición de confianza para el inversionista de largo plazo: la interdependencia creciente entre redes eléctricas y digitales exige estándares comunes de seguridad y mecanismos regionales de respuesta a incidentes.

A estos instrumentos conviene añadir dos condiciones habilitantes de la misma jerarquía. La primera es la conectividad y el espectro: sin fibra troncal, cables submarinos y una gestión del espectro que abarate el despliegue, la inversión

en cómputo no aterriza. La segunda es la integración eléctrica regional, interconexiones y mercados como el SIEPAC centroamericano o las interconexiones andinas, que permite compartir firmeza y excedentes limpios entre países, convirtiendo la escala regional en la ventaja competitiva que ningún mercado nacional alcanza por separado.

Gobernanza digital basada en transparencia

La segunda prioridad consiste en fortalecer la gobernanza de la economía digital. Buena parte del debate actual sobre IA se concentra en cuestiones fundamentales como privacidad, ciberseguridad, derechos digitales o sesgos algorítmicos. Sin embargo, la rápida expansión de la IA está haciendo visible otra dimensión que durante años permaneció prácticamente oculta: el consumo de recursos físicos asociado a la infraestructura digital.

La economía digital suele percibirse como un espacio intangible. Sin embargo, como hemos analizado, detrás de cada interacción con sistemas de IA existe una compleja infraestructura física compuesta por centros de datos, redes de telecomunicaciones, sistemas de refrigeración, equipamiento electrónico y recursos energéticos. Y a medida que aumenta la escala de la IA, también aumenta la importancia económica y ambiental de dicha infraestructura.

Por esta razón, la transparencia en el uso de recursos debe convertirse en uno de los pilares de la nueva gobernanza digital. Del mismo modo que hoy las empresas informan sobre resultados financieros, emisiones o riesgos climáticos, progresivamente será necesario avanzar hacia estándares más robustos de reporte relacionados con el consumo energético, la utilización de agua, la intensidad de carbono y la eficiencia de las infraestructuras digitales. En esta dirección, la ITU (2024, 2025) ha subrayado la necesidad de desarrollar estándares internacionales para evaluar el impacto ambiental de la IA, con métricas comunes para medir de forma consistente su huella ambiental a lo largo del ciclo de vida de los sistemas de IA. Esta agenda converge con el reciente llamamiento del secretario general de Naciones Unidas a reforzar la transparencia y la rendición de cuentas sobre el impacto ambiental de la infraestructura digital (Guterres, 2026).

Las recomendaciones recientes sobre infraestructura digital verde para América Latina apuntan precisamente en esta dirección. Es necesario desarrollar métricas homogéneas, fortalecer sistemas de medición, mejorar la trazabilidad de las cadenas digitales y construir marcos regulatorios que favorezcan la

transparencia sin obstaculizar la innovación. La gobernanza también requiere coordinación institucional. Las decisiones relacionadas con energía, telecomunicaciones, educación, innovación, industria y medio ambiente suelen recaer en organismos distintos. Sin mecanismos efectivos de cooperación, los países corren el riesgo de desarrollar políticas fragmentadas y poco eficaces. La economía digital exige instituciones capaces de trabajar transversalmente y de construir estrategias compartidas entre sector público, sector privado y organismos multilaterales (Melguizo y Muñoz, 2026a).

ESG renovado

La tercera prioridad consiste en revisar el enfoque ESG para adaptarlo a las características de la nueva economía digital. Durante la última década, los criterios ambientales, sociales y de gobernanza han adquirido una importancia creciente en los mercados financieros y en las estrategias corporativas. Sin embargo, también han surgido críticas relacionadas con la proliferación de indicadores, la heterogeneidad metodológica y el aumento de cargas administrativas asociadas al reporte. Muchas empresas perciben el ESG como un ejercicio de cumplimiento regulatorio más que como una herramienta de creación de valor. Este riesgo es particularmente relevante para economías emergentes y para empresas pequeñas y jóvenes, donde las capacidades institucionales y empresariales suelen ser más limitadas. Esta revisión del ESG forma parte de un debate más amplio que propone desplazar su foco desde el cumplimiento y la reputación hacia la resiliencia empresarial y económica frente a riesgos energéticos, tecnológicos y geoestratégicos (Ritzel, 2026a).

La revolución digital ofrece una oportunidad para replantear este enfoque. En lugar de multiplicar indicadores, resulta necesario concentrarse en aquellos factores que realmente condicionarán la competitividad futura de las empresas. Por ello se propone evolucionar hacia un marco centrado en tres elementos fundamentales: digitalización, energía y transparencia. La digitalización debe incorporarse explícitamente porque constituye una fuente creciente de productividad, innovación y resiliencia. En una economía crecientemente digitalizada, esta última dimensión incluye también la ciberseguridad y la protección de los activos digitales, factores esenciales para garantizar la continuidad operativa, preservar la confianza y sostener la creación de valor a largo plazo. Las organizaciones capaces de integrar IA, analítica avanzada y automatización de forma segura y resiliente estarán mejor preparadas para competir, adaptarse y crecer.

La energía debe ocupar una posición central porque se está convirtiendo en uno de los principales factores de competitividad económica. Esta dimensión adquiere especial relevancia con la expansión de la IA, que convierte la disponibilidad de electricidad y la capacidad de las redes en restricciones materiales para el crecimiento y en factores que los inversores deben incorporar crecientemente a su evaluación de riesgos (Ritzel, 2026b). En una economía impulsada por datos, centros de datos e IA, la disponibilidad de energía limpia, fiable y asequible será cada vez más determinante para atraer inversión, generar empleo y sostener el crecimiento. La transparencia actuaría como elemento integrador, al permitir evaluar riesgos, fortalecer la confianza de los inversores y facilitar la rendición de cuentas.

Este nuevo enfoque ESG puede concebirse como una herramienta para atraer y retener talento, captar inversiones, anticipar regulaciones futuras y fortalecer la competitividad empresarial. Las organizaciones que desarrollen capacidades tempranas en digitalización, eficiencia energética y transparencia estarán mejor posicionadas para prosperar en la economía de la IA.

4.2. El momento es ahora

Pocas veces en la historia reciente Iberoamérica ha reunido simultáneamente tantas condiciones favorables para participar en una transformación tecnológica global como la de la IA. La región combina una elevada adopción digital, abundantes recursos energéticos renovables, empresas líderes en sectores estratégicos, una población relativamente joven y una creciente sensibilidad social hacia la sostenibilidad.

América Latina y el Caribe tiene una oportunidad singular para integrarse en las cadenas globales de valor de la IA mediante la creación de una red de centros verdes de datos y computación, el desarrollo de aplicaciones industriales y la construcción de nuevas capacidades tecnológicas. Los centros de computación alimentados por energías renovables, una red regional de fondos para infraestructura verde con innovaciones financieras como los bonos de desarrollo digital (Balmaseda, Melguizo y Muñoz, 2025), la modernización regulatoria y la formación masiva de talento digital pueden convertir a la región en un destino atractivo para inversiones tecnológicas. Las aplicaciones industriales de IA (optimizando redes eléctricas, mejorando cadenas logísticas, aumentando la productividad agrícola o reduciendo consumos energéticos) pueden simultáneamente elevar la competitividad y reducir la intensidad ambiental de la economía.

En este contexto, dos de los ejes prioritarios establecidos en la Cumbre Iberoamericana de Madrid —la IA y el capital humano—, ofrecen una plataforma extraordinaria para impulsar esta agenda. Si se articulan adecuadamente con políticas industriales modernas, una gobernanza digital basada en transparencia y un nuevo enfoque ESG orientado a la competitividad, Iberoamérica no solo podrá adaptarse a la revolución de la IA, sino que podrá contribuir a definirla dentro de sus cadenas globales de valor.

La región no tiene que elegir entre liderazgo digital y sostenibilidad: en la economía de la IA, quien produzca más inteligencia con menos energía, menos agua y menos emisiones definirá las reglas del juego. Iberoamérica tiene, por una vez, los recursos, el talento y la ventana política para estar del lado de quienes escriben esas reglas, no del de quienes se limitan a acatarlas.

Anexo I. Ránkings extendidos

Cuadro A1. Top-50 del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales 2024 (ránking global)

#	Empresa	País	Sector	Huella	Gestión	IIRED
1	Agile Content SA	España	Tecnología	99	100	99,1
2	Protecta SA Compañía de Seguros	Perú	Finanzas	97	s/d	97,2
3	Seguros Vida Security Previsión SA	Chile	Finanzas	97	s/d	96,7
4	Bemobi Mobile Tech SA	Brasil	Tecnología	97	s/d	96,6
5	Banco Bradesco SA	Brasil	Finanzas	96	100	96,6
6	CaixaBank SA	España	Finanzas	95	100	96,1
7	Dunas Energía SAA	Perú	Servicios públicos	96	s/d	96,0
8	Interseguro Compañía de Seguros SA	Perú	Finanzas	96	s/d	95,9
9	Allied Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	96	s/d	95,9
10	Pacífico Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95	s/d	95,4
11	Banco Itau Chile	Chile	Finanzas	94	100	95,0
12	Banco de Occidente SA	Colombia	Finanzas	95	s/d	94,7
13	Mapfre Perú Vida Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95	s/d	94,6
14	Peña Verde SAB	México	Finanzas	95	s/d	94,6
15	Banco da Amazonia SA	Brasil	Finanzas	94	s/d	94,4
16	Aedas Homes SA	España	Inmobiliario	99	75	94,0

17	Mapfre SA	España	Finanzas	92	100	94,0
18	BRB-Banco de Brasilia SA	Brasil	Finanzas	94	s/d	93,7
19	Ultrapar Participações SA	Brasil	Energía	93	100	93,7
20	Scotiabank Chile	Chile	Finanzas	94	s/d	93,5
21	Banestes SA Banco do Estado do Espírito Santo	Brasil	Finanzas	93	s/d	93,5
22	Grupo Nacional Provincial SAB	México	Finanzas	93	s/d	93,4
23	Grupo Bursátil Mexicano SA de CV Casa de Bolsa	México	Finanzas	93	s/d	93,1
24	Banco Santander Chile	Chile	Finanzas	92	100	93,0
25	Banca March SA	España	Finanzas	91	100	92,9
26	Banco de Crédito e Inversiones	Chile	Finanzas	91	100	92,7
27	Bahema Educação SA	Brasil	Consumo discrecional	93	s/d	92,6
28	Banco do Estado de Sergipe SA	Brasil	Finanzas	93	s/d	92,5
29	Ci&T Inc	Brasil	Tecnología	92	s/d	92,4
30	Banco Pine SA	Brasil	Finanzas	92	s/d	92,3
31	Masorange SL	España	Comunicación	91	100	92,2
32	Morefield Group NV	Curazao	Salud	92	s/d	92,1
33	Banco do Nordeste do Brasil SA	Brasil	Finanzas	92	s/d	91,8
34	Helbor Empreendimentos SA	Brasil	Inmobiliario	99	50	91,8
35	La Positiva Seguros y Reaseguros SAA	Perú	Finanzas	92	s/d	91,7
36	Trisul SA	Brasil	Inmobiliario	92	s/d	91,7
37	Puig Brands SA	España	Consumo básico	90	100	91,6

38	Casa de Bolsa Finamex SAB de CV	México	Finanzas	92	s/d	91,6
39	Bancolombia SA	Colombia	Finanzas	89	100	91,3
40	Scotiabank Colpatria SA	Colombia	Finanzas	91	s/d	91,3
41	Compartamos Financiera SA	Perú	Finanzas	91	s/d	91,0
42	Banco Santander Perú SA	Perú	Finanzas	91	s/d	90,9
43	Banco Davivienda SA	Colombia	Finanzas	88	100	90,9
44	Grupo Profuturo SAB de CV	México	Finanzas	91	s/d	90,8
45	Creditaqui Financeira SA - Crédito Financiamento e Investimento	Brasil	Finanzas	91	s/d	90,8
46	Rimac Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95	75	90,6
47	CIELO SA Instituição de Pagamento	Brasil	Finanzas	88	100	90,4
48	eDreams ODIGEO SA	España	Consumo discrecional	97	50	90,2
49	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	España	Finanzas	88	100	90,2
50	Banco do Brasil SA	Brasil	Finanzas	87	100	90,1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro A2. Top-50 del Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales entre empresas de mayor facturación (quintiles 4 y 5)

#	Empresa	País	Sector	Huella	Gestión	IIRED
1	Banco Bradesco SA	Brasil	Finanzas	96	100	96,6
2	CaixaBank SA	España	Finanzas	95	100	96,1
3	Allied Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	96	s/d	95,9
4	Pacífico Compañía de Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95	s/d	95,4
5	Banco Itau Chile	Chile	Finanzas	94	100	95,0
6	Banco de Occidente SA	Colombia	Finanzas	95	s/d	94,7
7	Peña Verde SAB	México	Finanzas	95	s/d	94,6
8	Banco da Amazonia SA	Brasil	Finanzas	94	s/d	94,4
9	Aedas Homes SA	España	Inmobiliario	99	75	94,0
10	Mapfre SA	España	Finanzas	92	100	94,0
11	BRB-Banco de Brasilia SA	Brasil	Finanzas	94	s/d	93,7
12	Ultrapar Participações SA	Brasil	Energía	93	100	93,7
13	Scotiabank Chile	Chile	Finanzas	94	s/d	93,5
14	Banestes SA Banco do Estado do Espirito Santo	Brasil	Finanzas	93	s/d	93,5
15	Grupo Nacional Provincial SAB	México	Finanzas	93	s/d	93,4
16	Banco Santander Chile	Chile	Finanzas	92	100	93,0
17	Banca March SA	España	Finanzas	91	100	92,9
18	Banco de Crédito e Inversiones	Chile	Finanzas	91	100	92,7

19	Masorange SL	España	Comunicación	91	100	92,2
20	Banco do Nordeste do Brasil SA	Brasil	Finanzas	92	s/d	91,8
21	Puig Brands SA	España	Consumo básico	90	100	91,6
22	Bancolombia SA	Colombia	Finanzas	89	100	91,3
23	Scotiabank Colpatria SA	Colombia	Finanzas	91	s/d	91,3
24	Banco Davivienda SA	Colombia	Finanzas	88	100	90,9
25	Grupo Profuturo SAB de CV	México	Finanzas	91	s/d	90,8
26	Rimac Seguros y Reaseguros	Perú	Finanzas	95	75	90,6
27	CIELO SA Instituição de Pagamento	Brasil	Finanzas	88	100	90,4
28	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	España	Finanzas	88	100	90,2
29	Banco do Brasil SA	Brasil	Finanzas	87	100	90,1
30	Kutxabank SA	España	Finanzas	94	75	89,9
31	ABANCA Corporación Bancaria SA	España	Finanzas	87	100	89,8
32	Banco Mercantil do Brasil SA	Brasil	Finanzas	90	s/d	89,7
33	Grupo Security SA	Chile	Finanzas	97	50	89,5
34	Banco de Bogotá SA	Colombia	Finanzas	97	50	89,5
35	Grupo Supervielle SA	Argentina	Finanzas	87	100	89,2
36	Movida Participações SA	Brasil	Industria	87	100	89,0
37	Banco ABC Brasil SA	Brasil	Finanzas	99	50	89,0
38	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria Colombia SA	Colombia	Finanzas	95	67	88,9
39	Banco BPI SA	Portugal	Finanzas	86	100	88,9

40	Novo Banco SA	Portugal	Finanzas	86	100	41
42	Grupo Bolívar SA	Colombia	Finanzas	89	s/d	88,6
43	Bankinter SA	España	Finanzas	92	75	88,6
44	Banco Inbursa SA Institución de Banca Múltiple Grupo Financiero Inbursa	México	Finanzas	88	s/d	88,2
45	Banco de Crédito Social Cooperativo SA	España	Finanzas	92	75	88,0
46	Nu Holdings Ltd	Brasil	Finanzas	99	25	87,8
47	Banco Macro SA	Argentina	Finanzas	94	50	87,7
48	Indra Sistemas SA	España	Tecnología	91	75	87,7
49	Línea Directa Aseguradora SA Compañía de Seguros y Reaseguros	España	Finanzas	90	75	87,6
50	Banco Santander Brasil SA	Brasil	Finanzas	94	50	87,1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro A3. Top-25 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Tecnología

#	Empresa	País	Sector	Huella	IIRED
1	Agile Content SA	España	Tecnología	99	99,1
2	Bemobi Mobile Tech SA	Brasil	Tecnología	97	96,6
3	Allied Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	96	95,9
4	Ci&T Inc	Brasil	Tecnología	92	92,4
5	Infracommerce CXAAS SA	Brasil	Tecnología	88	87,8
6	Indra Sistemas SA	España	Tecnología	91	87,7
7	Seresco SA	España	Tecnología	88	87,6
8	Nuvini SA	Brasil	Tecnología	87	87,2
9	Amadeus IT Group SA	España	Tecnología	80	84,6
10	Izertis SA	España	Tecnología	81	83,8
11	Neogrid Participações SA	Brasil	Tecnología	84	83,7
12	CSU Digital SA	Brasil	Tecnología	83	83,1
13	Sapiens International Corporation NV (Pre-reincorporation)	Curazao	Tecnología	80	83,0
14	Dotz SA	Brasil	Tecnología	82	81,8
15	BRQ Soluções em Informática SA	Brasil	Tecnología	80	79,7
16	Quality Software SA	Brasil	Tecnología	79	79,0
17	Intelbras SA Industria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira	Brasil	Tecnología	83	78,5
18	ISPD Network SA	España	Tecnología	92	77,9

19	Livetech da Bahia Indústria e Comércio SA	Brasil	Tecnología	78	77,6
20	Sonda SA	Chile	Tecnología	80	75,6
21	Amper SA	España	Tecnología	75	74,6
22	Glintt Global SA	Portugal	Tecnología	78	73,7
23	Lwsa SA	Brasil	Tecnología	76	71,8
24	Positivo Tecnologia SA	Brasil	Tecnología	77	71,8
25	Facephi Biometria SA	España	Tecnología	84	71,2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro A4. Top-25 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Comunicación

#	Empresa	País	Sector	Huella	IIRED
1	Masorange SL	España	Comunicación	91	92,2
2	Eletromidia SA	Brasil	Comunicación	89	88,7
3	Caracol Televisión SA	Colombia	Comunicación	81	85,6
4	Atresmedia Corporación de Medios de Comunicación SA	España	Comunicación	80	83,2
5	Impresa Sociedade Gestora de Participações Sociais SA	Portugal	Comunicación	75	78,4
6	Telefônica Brasil SA	Brasil	Comunicación	73	73,6
7	NOS SGPS SA	Portugal	Comunicación	65	72,2
8	Futebol Clube do Porto Futebol Sad	Portugal	Comunicación	65	70,1
9	Sport Lisboa e Benfica Futebol SAD	Portugal	Comunicación	69	68,9
10	Grupo Televisa SAB	México	Comunicación	59	68,4
11	Blanco y Negro SA	Chile	Comunicación	68	67,7
12	Squirrel Media SA	España	Comunicación	73	67,5
13	Telefónica SA	España	Comunicación	71	67,4
14	Telecomunicações Brasileiras SA - TELEBRAS	Brasil	Comunicación	67	66,8
15	Empresa Editora El Comercio SA	Perú	Comunicación	65	64,6
16	Corporación Interamericana de Entretenimiento SAB de CV	México	Comunicación	69	63,9
17	Promotora de Informaciones SA	España	Comunicación	63	63,4

18	Azul SA	Chile	Comunicación	63	63,3
19	América Móvil SAB de CV	México	Comunicación	61	63,2
20	Grupo Media Capital SGPS SA	Portugal	Comunicación	67	63,1
21	Empresa Nacional de Telecomunicaciones SA	Chile	Comunicación	59	62,7
22	TIM Participações SA	Brasil	Comunicación	62	61,6
23	Llorente y Cuenca SA	España	Comunicación	72	61,6
24	RCN Televisión SA	Colombia	Comunicación	77	60,6
25	Telefónica del Perú SAA	Perú	Comunicación	57	59,4

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro A5. Top-25 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales · Energía y Servicios Públicos

#	Empresa	País	Sector	Huella	IIRED
1	Dunas Energía SAA	Perú	Servicios públicos	96	96,0
2	Ultrapar Participações SA	Brasil	Energía	93	93,7
3	Vibra Energia SA	Brasil	Energía	87	88,7
4	Grenergy Renovables SA	España	Servicios públicos	83	85,4
5	Holaluz-Clidom SA	España	Servicios públicos	79	83,8
6	Audax Renovables SA	España	Servicios públicos	90	81,3
7	Nortegas Energía Distribución SAU	España	Servicios públicos	73	78,6
8	Nova Transportadora do Sudeste SA NTS	Brasil	Energía	72	78,1
9	Auren Participações SA	Brasil	Servicios públicos	77	76,5
10	Solaria Energía y Medio Ambiente SA	España	Servicios públicos	76	75,4
11	Técnicas Reunidas SA	España	Energía	73	73,3
12	Interconnection Electric SA ESP	Colombia	Servicios públicos	63	70,2
13	Alupar Investimento SA	Brasil	Servicios públicos	70	67,2
14	Promigas SA ESP	Colombia	Servicios públicos	58	67,1
15	Organización Terpel SA	Colombia	Energía	64	66,4
16	Corporación Acciona Energías Renovables SA	España	Servicios públicos	59	65,5
17	Redeia Corporación SA	España	Servicios públicos	58	63,9

18	Comerc Participações SA	Brasil	Servicios públicos	69	63,6
19	Auren Energia SA	Brasil	Servicios públicos	66	63,3
20	EDP Renováveis SA	España	Servicios públicos	60	63,1
21	Slb NV	Curazao	Energía	61	62,8
22	Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electro Norte Medio SA	Perú	Servicios públicos	63	61,4
23	Floene Energias SA	Portugal	Servicios públicos	49	59,9
24	Grupo Energía Bogotá SA ESP	Colombia	Servicios públicos	55	59,7
25	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste SA	Perú	Servicios públicos	61	59,1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Cuadro A6. Top-25 Índice Iberoamericano de Recursos Estratégicos Digitales· Energías Renovables

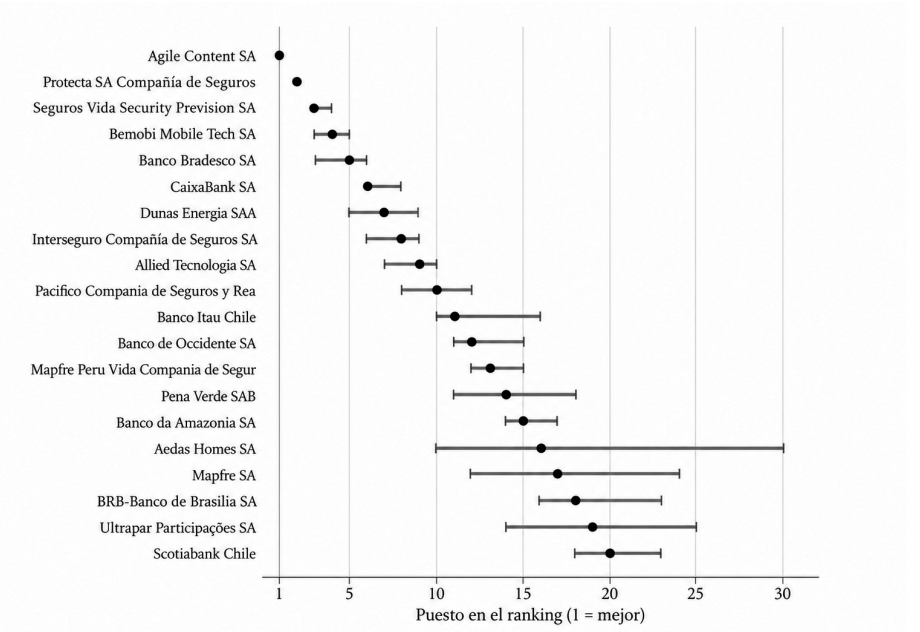
#	Empresa	País	Sector	Huella	IIRED
1	Grenergy Renovables SA	España	Servicios públicos	83	85,4
2	Audax Renovables SA	España	Servicios públicos	90	81,3
3	Auren Participações SA	Brasil	Servicios públicos	77	76,5
4	Solaria Energía y Medio Ambiente SA	España	Servicios públicos	76	75,4
5	Corporación Acciona Energías Renovables SA	España	Servicios públicos	59	65,5
6	Auren Energia SA	Brasil	Servicios públicos	66	63,3
7	EDP Renováveis SA	España	Servicios públicos	60	63,1
8	Rio Alto Energias Renováveis SA	Brasil	Servicios públicos	56	47,2
9	Greenalia SA	España	Servicios públicos	34	44,0
10	Greenvolt Energias Renováveis SA	Portugal	Servicios públicos	27	37,7
11	Omega Geracao SA	Brasil	Servicios públicos	34	33,7
12	Renova Energia SA Em Recuperação Judicial	Brasil	Servicios públicos	33	33,1
13	Energía Innovación y Desarrollo Fotovoltaico SA	España	Servicios públicos	37	31,7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Anexo II. Robustez de los resultados

Un índice es útil si su ordenación resiste cambios razonables de método y si mide aquello que pretende medir. Tres comprobaciones permiten precisar qué recoge el IIRED y con qué solidez. Una cuarta muestra cómo se comporta cuando la frontera de medición se amplía a la cadena de valor. El orden del ránking apenas depende de cómo se ponderen las cuatro dimensiones. Una simulación con dos mil combinaciones de pesos, perturbados hasta un 30%, mantiene a las diez primeras empresas en el top-10 en el noventa y siete por ciento de los casos y en el top-50 en el noventa y cuatro por ciento (gráfico A1). La incertidumbre no desaparece, pero se concentra en la cola: la anchura mediana del intervalo de posiciones es de once puestos en la cabeza y supera los cuarenta en el conjunto. El liderazgo es, en consecuencia, una señal robusta y no un efecto de la ponderación elegida.

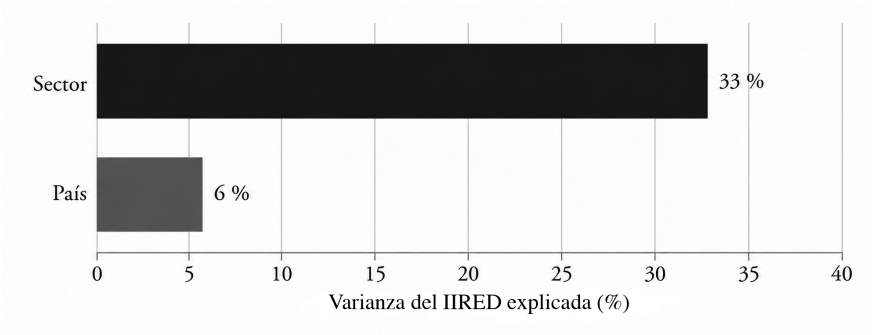
Gráfico A1. Incertidumbre del puesto en el ránking: intervalo [p5, p95] del top-20 (2.000 réplicas de pesos, ±30%)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

La puntuación depende mucho más de la actividad que de la geografía. El sector explica cerca de un tercio de la varianza del IIRED, mientras que el país da cuenta de apenas un seis por ciento (gráfico A2). Ese peso del sector no es un sesgo, sino el reflejo de que la intensidad de recursos es intrínseca a cada actividad, y es también lo que da sentido al ajuste intrasector, que neutraliza esa herencia para comparar a cada empresa con sus pares.

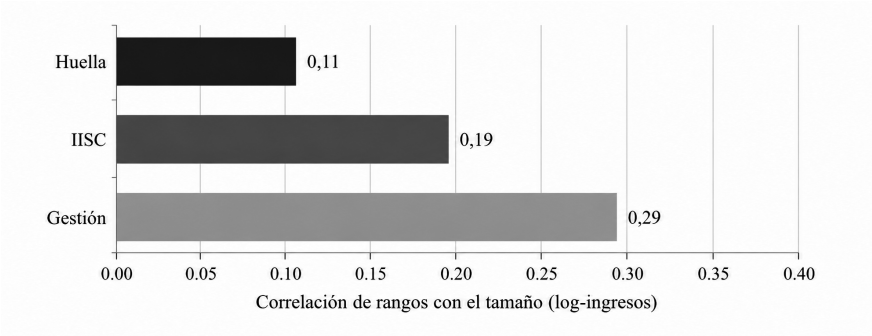
Gráfico A2. Varianza del IIRED explicada por el sector y por el país (η^2)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

El IIRED no es un indicador encubierto de tamaño. Su correlación de rangos con la facturación es débil, de 0,19, y procede casi por completo de la gestión, cuya correlación llega a 0,29, frente a solo 0,11 de la huella (gráfico A3). La eficiencia física, la parte ambiental del índice, es en la práctica independiente del tamaño de la empresa. La relación del IIRED con la facturación, cuando aparece, procede del componente institucional y no del ambiental.

Gráfico A3. Correlación del IIRED y de sus dos palancas con el tamaño (log-ingresos)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Clarity AI. Muestra principal (≥3 dimensiones), 2024.

Referencias bibliográficas

Aguilar, A. L., Melguizo, Á., Balmaseda, M. y Muñoz, V. (2023): *Digitales, verdes y aliados*, Madrid, Fundación Carolina y Telefónica. Disponible en: https://www.fundacioncarolina.es/catalogo/digitales-verdes-y-aliados-impacto-economico-social-y-medioambiental-de-la-iniciativa-global-gateway-y-la-alianza-digital-ue-america-latina-y-el-caribe/.

AI Energy Score (2025): *AI Energy Score.* Disponible en: https://huggingface.github.io/AIEnergyScore/.

Altman, S. (2025): *Transcript: Sam Altman Testifies at US Senate Hearing on AI Competitiveness.* Disponible en: https://www.techpolicy.press/transcript-sam-altman-testifies-at-us-senate-hearing-on-ai-competitiveness/.

Balmaseda, M., Melguizo, Á. y Muñoz, V. (2025): "Financiando el futuro. Una propuesta de bonos de desarrollo digital para Iberoamérica", *Pensamiento Iberoamericano*. Disponible en: https://pensamientoiberoamericano.org/1-2025/financiando-el-futuro-una-propuesta-de-bonos-de-desarrollo-digital-para-iberoamerica/.

Banco Mundial (2025): World Development Indicators, Washington D. C. Disponible en: https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators.

Benjamins, R. y Melguizo, A. (2022), "Sin digitalización no hay sostenibilidad", *El País*. Disponible en: https://elpais.com/america-futura/2022-09-06/sin-digitalizacion-no-hay-sostenibilidad.html.

Berg, F., Kölbel, J.F. y Rigobon, R. (2022): "Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings", *Review of Finance* 26(6), pp. 1315-1344. Doi: https://doi.org/10.1093/rof/rfac033.

Blanco, A. (ed.) (2025): *Global LATAM 2025*. Madrid: ICEX España Exportación e Inversiones y Secretaría General Iberoamericana (SEGIB). Disponible en: https://www.investinspain.org/en/publicaciones/global-latam-2025.

Blyde, J. S., García, P. M., López, A. y Pascuini, P. (2025): *Multilatinas en movimiento: características, motivaciones y lineamientos de política*, Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: https://publications.iadb.org/es/multilatinas-en-movimiento-caracteristicas-motivaciones-y-lineamientos-de-politica?__cf_chl_f_tk=39Iv41QIZER2TAtLP_PlQOTtZnumVNW8dCT6MLXs5yk-1782992958-1.0.1.1-Rvt9HsDkOsyKtbgusPy3LY1M19Fsyr2i6BoMCVvp_H4.

Brandon, R.G., Krueger, P. y Schmidt, P.S. (2021): "ESG Rating Disagreement and Stock Returns", *Financial Analysts Journal* 77(4), pp. 104-127. Doi: https://doi.org/10.1080/0015198X.2021.1963186.

Bruno, G., Esakia, M. y Goltz, F. (2022): "Honey, I Shrunk the ESG Alpha: Risk-Adjusted ESG Portfolio Returns", *The Journal of Investing* 31 (3), pp. 45-61. Disponible en: https://www.pm-research.com/content/iijinvest/31/3/45.

Brynjolfsson, E. y Hitt, L. M. (2000): "Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance", *Journal of Economic Perspectives* 14(4), pp. 23-48. Doi: https://doi.org/10.1257/jep.14.4.23.

Casanova, L. y Miroux, A. (2017): *Emerging Market Multinationals Report 2017: Emerging Multinationals in a Changing World*, Emerging Markets Institute, Cornell University. Disponible en: https://www.johnson.cornell.edu/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/EMR-2017-FINAL-FINAL-4dec2017.pdf.

— (2024): *Emerging Markets Multinationals Report 2024: Innovation and Transformation to Emerge Stronger*. Emerging Markets Institute, Cornell University. Disponible en: https://ecommons.cornell.edu/entities/publication/940ed4fe-f97f-4c26-80f4-7f289975553f.

CEPAL (2024): *Transformación digital productiva: análisis de políticas, estrategias e instrumentos para impulsarla en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile. Disponible en: https://www.cepal.org/es/publicaciones/84408-transformacion-digital-productiva-analisis-politicas-estrategias-instrumentos.

Chatterji, A.K., Durand, R., Levine, D.I. y Touboul, S. (2016): "Do ratings of firms converge? Implications for managers, investors and strategy researchers", *Strategic Management Journal* 37, pp. 1597-1614. Doi: https://doi.org/10.1002/smj.2407.

Clarity (2025), *What Transition Plans Reveal About Future Climate Performance. A Case Study in the Steel and Cement Sectors*. Disponible en: https://clarity.ai/research-and-insights/ai/report-what-transition-plans-reveal-about-future-climate-performance/.

Cobb, C. W. y Douglas, P. H. (1928). "A Theory of Production", *American Economic Review*, 18(1), pp. 139-165. Disponible en: https://www.jstor.org/stable/1811556.

Dobrick, J., Klein, C. y Zwergel, B. (2025): "ESG as risk factor", *Journal of Asset Management* 26, pp. 44-70. Doi: https://doi.org/10.1057/s41260-024-00382-z.

Ember (2026): *Yearly Electricity Data*. Disponible en: https://ember-energy.org/data/yearly-electricity-data/.

Energy Institute (2025): *Statistical Review of World Energy*, Londres. Disponible en: https://www.energyinst.org/statistical-review.

Escobar-Saldívar, L. J., Villarreal-Samaniego, D. y Santillán-Salgado, R.J. (2026): "ESG and Its Components: Impact on Stock Returns Across Markets", *Risks* 14(1). Disponible en: https://www.mdpi.com/2227-9091/14/1/4.

Evans, R. y Gao, J. (2016): *DeepMind AI reduces Google data centre cooling bill by 40%*. Disponible en: https://deepmind.google/discover/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40/.

Feenstra, R. C., Inklaar, R. y Timmer, M. P. (2015): "The Next Generation of the Penn World Table", *American Economic Review* 105(10), pp. 3150-3182. Doi: https://doi.org/10.1257/aer.20130954.

— (2025): *Penn World Table, version 11.0*, Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen. Disponible en: https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/.

Fondo Monetario Internacional (2026): World Economic Outlook Database, abril de 2026, Washington D. C. Disponible en: https://www.imf.org/en/Publications/WEO.

Foro Económico Mundial (2020): *Measuring Stakeholder Capitalism: Towards Common Metrics and Consistent Reporting of Sustainable Value Creation*. Disponible en: https://www.weforum.org/publications/measuring-stakeholder-capitalism-towards-common-metrics-and-consistent-reporting-of-sustainable-value-creation/.

Friede, G., Busch, T. y Bassen, A. (2015): "ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies", *Journal of Sustainable Finance & Investment* 5(4), pp. 210-233. Doi: https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917.

Galema, R. y Gerritsen, D. (2025): "Changes in ESG Ratings and Stock Market Reactions", *Journal of Banking and Finance* 154. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560625000440.

Guterres, A. (2026): *Secretary-General's special address at London Climate Action Week*. Disponible en: https://www.un.org/sg/en/content/sg/statements/2026-06-23/secretary-generals-special-address-london-climate-action-week-delivered.

Hasnaoui, A. (2025): "ESG ratings and investment performance: evidence from tech-heavy mutual funds", *Review of Accounting and Finance* 24(1) pp. 59-70. Doi: https://doi.org/10.1108/RAF-02-2024-0069.

Hu, M., Yi, J., Chen, Z., Sun, W. y Zhan, Q. (2026): "Stress Amplified Resilience: ESG and Joint Fragility in Equity Markets", documento de trabajo arXiv. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2606.05631.

International Monetary Fund (2026): *World Economic Outlook Database, April 2026*, Washington, D. C. Disponible en: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2026/April.

Intel Labs (2021): *Taking neuromorphic computing to the next level with Loihi 2: Technology Brief*. Disponible en: https://www.intel.la/content/www/xl/es/research/neuromorphic-computing-loihi-2-technology-brief.html.

ITU (2024): *AI and the Environment - International Standards for AI and the Environment. 2024 Report,* International Telecommunication Union. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/env/T-ENV-ENV-2024-1-PDF-E.pdf.

— (2025): *Measuring what matters: How to assess AI's environmental impact*. Disponible en: https://www.itu.int/hub/publication/s-gen-gda-001-2025/.

ITU y WBA (2024): *Greening Digital Companies 2024*. Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Publications/GDC-24.aspx. International Telecommunication Union and the World Benchmarking Alliance.

Jackson, A. (2025): Gartner: *Power shortages could limit 40% of AI data centres.* Data centre magazine. Disponible en: https://datacentremagazine.com/critical-environments/gartner-power-shortages-could-limit-40-of-ai-data-centres.

Jorgenson, D. W., Ho, M. S. y Stiroh, K. J. (2008): "A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence", *Journal of Economic Perspectives* 22(1), pp. 3-24. Doi: https://doi.org/10.1257/jep.22.1.3.

Katz, R. y Jung, J. (2025). *El impacto socioeconómico de la infraestructura de datos*. Nota Técnica IDB-TN-3094, Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: https://publications.iadb.org/es/el-impacto-socioeconomico-de-la-infraestructura-de-datos.

Kotsantonis, S. y Serafeim, G. (2019): "Four Things No One Will Tell You About ESG Data", *Journal of Applied Corporate Finance* 31, pp. 50-58. Doi: https://doi.org/10.1111/jacf.12346.

Lebdioui, A. (2022), "Nature-inspired innovation policy: biomimicry as a pathway to leverage biodiversity for economic development," *Ecological Economics*

202. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800922002476.

— (2024), "Survival of the Greenest: Economic Transformation in a Climate-conscious World", *Elements in Development Economics*, Cambridge University Press. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/books/survival-of-the-greenest/F0A8EDD3878C262B24FAEC1A9CE1CA18.

Lebdioui, A., Melguizo, Á. y Muñoz, V. (2025): "Artificial Intelligence, Biodiversity & Energy: From a Resource-Intensive to a Symbiotic Tech", documento de trabajo 90, TIDE Centre, Universidad de Oxford. Disponible en: https://oxford-tide.org/2025/01/17/working-paper-90-artificial-intelligence-biodiversity-energy-from-a-resource-intensive-to-a-symbiotic-tech

Lema, R., Fu, X. y Rabellotti, R. (2020): "Green windows of opportunity: latecomer development in the age of transformation toward sustainability", *Industrial and Corporate Change* 29(5), pp. 1193-1209. https://doi.org/10.1093/icc/dtaa044

Luccioni, S., Gamazaychikov, B., Strubell, E., Hooker, S., Jernite, Y., Wu, C.-J. y Mitchell, M. (2025): *AI Energy Score Leaderboard - February 2025*, Hugging Face. Disponible en: https://huggingface.co/spaces/AIEnergyScore/Leaderboard.

McKinsey Company (2022), "Does ESG Really Matter—and Why?", McKinsey Sustainability Insights. Disponible en: https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/does-esg-really-matter-and-why.

Melguizo, A., Jung, J. y Katz, R. (2026): "Can AI grow green? Evidence of a Kuznets curve among AI, renewable energies and emissions", *Energy Policy* 208. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421525003908.

Melguizo, A y V. Muñoz (2026a): *El código verde: IA + energía. Cómo la eficiencia energética decidirá la carrera digital,* Editorial LID. Disponible en: https://lideditorial.com.co/product/el-codigo-verde-ia-energia/.

— (2026b): *Unlocking the Digital Potential of Latin America and the Caribbean Market Integration, Investment, Smart Regulation and Artificial Intelligence,* CCLATAM. Disponible en: https://cc-latam.org/wp-content/uploads/2026/06/CCLATAM-Unlocking-the-Digital_Potential-of-LAC-Final-.pdf.

— (2025): "Green Valley en América Latina: la oportunidad de la infraestructura digital verde en la era de la IA", Infobae. Disponible en: https://www.infobae.com/america/opinion/2025/07/24/green-valley-en-america-latina-la-oportunidad-de-la-infraestructura-digital-verde-en-la-era-de-la-ia/.

Muñoz, V., Balmaseda, M. y Melguizo, A. (2025): Habilidades para la economía digital. Habilidades para la economía digital: Impacto económico y social de la formación para el presente y el futuro del trabajo en América Latina y el Caribe,

Fundación Carolina. Disponible en: https://www.fundacioncarolina.es/wpcontent/uploads/2025/07/LIB_habilidades_Economia_digital.pdf.

Nicolas, M.L.D., Desroziers, A., Caccioli, F. y Aste, T (2024): "ESG reputation risk matters: An event study based on social media data", *Finance Research Letters* 59. Doi: https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104712.

Organización Latinoamericana y caribeña de Energía (2025): "Hacia 2035, la IA demandará el 5% de la electricidad consumida en América Latina y el Caribe", Quito, OLACDE (documento técnico). Disponible en: https://www.olade.org/en/editoriales/march-2025by-2035-artificial-intelligence-will-demand-5-of-the-electricity-consumed-in-latin-america-and-the-caribbean/.

Organización Internacional del Trabajo, OIT (2025): ILOSTAT, Ginebra. Disponible en: https://ilostat.ilo.org.

Paccou R. y Wijnhoven, F. (2024): *Artificial Intelligence and Electricity. A System Dynamics Approac*h, Schneider Electric Sustainability Research Institute. Disponible en: https://www.se.com/in/en/download/document/TLA_System_Dynamics_Approach/.

PNUD (2025): *Informe Regional sobre Desarrollo Humano. Bajo presión: Recalibrando el futuro del desarrollo en América Latina y el Caribe.* Disponible en: https://www.undp.org/es/latin-america/publicaciones/informe-regional-sobre-desarrollo-humano-bajo-presion-recalibrando-el-futuro-del-desarrollo-en-america-latina-y-el-caribe.

PwC (2006): Global Data Centre Outlook 2026-50. Disponible en: https://www.pwc.com/gx/en/1/services/consulting/technology/data-centre-outlook.html

Ritchie, H., Rosado, P. y Roser, M. (2023): "Energy", *Our World in Data*. Disponible en: https://ourworldindata.org/energy.

Ritzel, A. (2026a), "The New ESG: Energy, Sovereignty, Geostrategy", *Clarity AI*. Disponible en: https://clarity.ai/research-and-insights/market-insights/the-new-esg-energy-sovereignty-geostrategy/.

— (2026b), "Data Center Energy Demand: The AI Ceiling Investors Need to Price In", *Clarity AI*. Disponible en: https://clarity.ai/research-and-insights/ai/data-center-energy-demand-the-ai-ceiling-investors-need-to-price-in/.

Solow, R. M. (1956): "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics* 70(1), pp. 65-94. Doi: https://doi.org/10.2307/1884513.

— (1957): "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics* 39(3), pp. 312-320. Doi: https://doi.org/10.2307/1926047.

The Economist (2022): "The ESG Industry's Reckoning". Disponible en: https://www.economist.com/special-report/2022/07/21/a-broken-system-needs-urgent-repairs.

Thomson Reuters (2024): *Thomson Reuters Foundation and UNESCO partner to drive responsible corporate AI adoption*. Disponible en: https://www.trust.org/2024/10/23/unesco-and-the-thomson-reuters-foundation-partner-to-launch-the-ai-governance-disclosure-initiative/.

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2022), *Recomendación sobre la ética de la IA*. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa.

Whelan, T., Atz, U. y Clark, C. (2021): *ESG and Financial Performance: Uncovering the Relationship by Aggregating Evidence from 1,000 Plus Studies*, NYU Stern Center for Sustainable Business y Rockefeller Asset Management. Disponible en: https://www.stern.nyu.edu/sites/default/files/assets/documents/NYU-RAM_ESG-Paper_2021%20Rev_0.pdf.

El asesoramiento científico ha emergido como un componente esencial en la formulación de políticas públicas. La creciente complejidad de los desafíos contemporáneos ha puesto de relieve la necesidad de fortalecer los mecanismos que vinculan el conocimiento científico con los procesos de toma de decisiones. Disponer de estructuras sólidas que faciliten el diálogo entre ciencia y política no solo es una cuestión de eficacia institucional, sino un requisito para la construcción de sociedades más resilientes, inclusivas y sostenibles. En el contexto iberoamericano, marcado por transiciones democráticas, desigualdades e inestabilidad institucional, fortalecer esta interfaz constituye también un ejercicio de gobernanza democrática.

aecid

fundación carolina

AGENDA 2030

cooperación española