

Biodiversidad y desarrollo productivo:

Trampas extractivistas
y ecosistemas de
innovación simbiótica en
América Latina y el Caribe

Amir Lebdioui





BIODIVERSIDAD Y DESARROLLO PRODUCTIVO: TRAMPAS EXTRACTIVISTAS Y ECOSISTEMAS DE INNOVACIÓN SIMBIÓTICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Esta publicación fue emitida bajo la Presidencia Ejecutiva de CAF, a cargo de Sergio Díaz-Granados, y la Vicepresidencia Corporativa de Programación Estratégica, a cargo de Christian Asinelli.

AUTOR

Amir Lebdioui, director del centro de Tecnología e Industrialización para el Desarrollo (TIDE) de la Universidad de Oxford.

EDITORIAL

Corporación Andina de Fomento (CAF) — banco de desarrollo de América Latina y el Caribe— y el centro de Tecnología e Industrialización para el Desarrollo (TIDE) de la Universidad de Oxford.

GERENCIA DE ACCIÓN CLIMÁTICA Y BIODIVERSIDAD POSITIVA DE CAF

Alicia Montalvo, gerente

GESTIÓN EDITORIAL

Departamento de Comunicación Estratégica, CAF

DISEÑO GRÁFICO

Simple (holasimple.com)

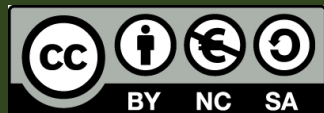
Copyright © 2025

CAF — banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como su almacenamiento en un sistema de recuperación de datos o su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin consentimiento previo.

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva del autor y no refleja ni implica posición política alguna de CAF (ni de ninguno de sus países o autoridades miembro) ni de la Universidad de Oxford.

Este trabajo se publica bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivados 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/by-nc-nd/4.0/>).



AGRADECIMIENTOS

Este reporte fue redactado y escrito por Amir Lebdioui, profesor asociado y director del centro TIDE de la Universidad de Oxford, cuyo trabajo se benefició de las valiosas aportaciones del equipo de CAF, en particular de Alicia Montalvo, Mauricio Velasquez, Martin Brasa, María Moreno Córdoba, Rolando Andrade e Ignacio Lorenzo. El reporte también contó con la excelente ayuda en investigación de Shashwat Koirala y Sara Torres Raisbeck.

El equipo de CAF y el autor también desean expresar su agradecimiento por las aportaciones, la orientación y el apoyo colectivos de numerosas personas y organizaciones externas. Un agradecimiento especial también a las partes interesadas que están configurando de manera activa el futuro de la biodiversidad y los ecosistemas de innovación en toda América Latina y el Caribe.

Más concretamente, por sus aportes, hacemos extensivo nuestro sincero agradecimiento a las siguientes personas:

- Adriana Abdenur (exasesora de la Presidencia brasileña, copresidenta del Fondo Mundial para una Nueva Economía y cofundadora de la Plataforma CIPO)
- Andres Valenciano (director ejecutivo de Democraciasmas y asesor principal del centro TIDE)
- Angel Melguizo (socio de ARGIA y asesor principal del centro TIDE)
- Anna Stewart Ibarra (directora ejecutiva, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global)
- Annabelle Aish (directora del proyecto “Bioinspire-Muséum” en el Museo de

Historia Natural de Francia)

- Brigitte Baptiste (rectora de la Universidad EAN, Colombia)
- Carlota Perez (profesora honoraria, UCL IIPP), Dalila Aldana Aranda (CINVESTAV, México)
- Deuza Santos (coordinadora de Gestión de Innovación y Emprendimiento, Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonía [INPA, por sus siglas en portugués])
- Diego Inclán (director ejecutivo, Instituto Nacional de Biodiversidad [INABIO], Ecuador)
- Donovan Campbell (profesor de Geografía Ambiental, Universidad de las Indias Occidentales, Jamaica)
- Hernando García Martínez (director general, Instituto Alexander Von Humboldt)
- Jan Yves Remy (director del Centro Shridath Ramphal de Derecho, Política y Servicios de Comercio Internacional, Universidad de las Indias Occidentales)
- Luz Marina Mantilla (directora general del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Colombia)
- Marc-Olivier Coppens (director del Centro UCL de Ingeniería Inspirada en la Naturaleza)
- Marcela Morales (directora de Pousaz Philantropies)
- Mauricio Diazgranados (director científico y decano del Centro Internacional de Ciencias de las Plantas, Jardín Botánico de Nueva York.)
- Sabrina Fernandes (directora de Investigación del Instituto Alameda y asesora principal del centro TIDE)
- Sandra Vilardy, doctora en Ecología y Medioambiente, Universidad de Los Andes
- Sarah Wyatt (especialista principal en biodiversidad, Fondo para el Medio Ambiente Mundial)

Mensajes clave

- La trayectoria de la región en términos de *dilema* o sinergia entre biodiversidad y desarrollo depende en gran medida del tipo de financiamiento movilizado: el capital extractivo a corto plazo perpetúa la degradación, mientras que el capital a largo plazo (paciente y alineado con la contabilidad del capital natural) respalda una prosperidad sostenible e inclusiva basada en una economía del conocimiento centrada en la naturaleza.
- Las tasas bajas de inversión en investigación y desarrollo (I+D), y las capacidades limitadas de innovación dejan a la mayoría de las economías de América Latina y el Caribe (ALC) estancadas en la trampa del ingreso medio. El volumen de gasto en I+D que se necesita para cerrar la brecha en ALC debe aumentar de los USD 35 mil millones anuales de hoy a un mínimo de USD 130 mil millones anuales. Sin embargo, además de una mayor inversión en I+D, la región necesita un nuevo rumbo en la innovación para poder dar el salto hacia la frontera de la innovación. En ALC, la biodiversidad actúa como una puerta de entrada para que la región dé el salto hacia actividades de innovación disruptiva y así romper la trampa del ingreso medio.
- La innovación inspirada en la naturaleza debe primar sobre las soluciones basadas en ella: no todos los modelos de “bioeconomía” son desarrollistas. Sin desarrollo de capacidades, gobernanza justa y reparto del valor local, la bioeconomía se tradujo, a menudo, en una “biologicalización” del extractivismo. Entre los distintos tipos de modelos de desarrollo basado en la biodiversidad, la innovación bioinspirada ofrece la vía más escalable y con menos limitaciones ecológicas para un desarrollo productivo a largo plazo basado en la biodiversidad.
- La desigualdad territorial en términos de capacidades científicas y de innovación ha generado un extractivismo cognitivo. Las zonas biodiversas de ALC suelen ser las más pobres en cuanto a capacidad científica y de innovación. Reequilibrar territorialmente la I+D con inversiones en la capacidad de innovación y la creación de valor local es un imperativo tanto de equidad como de eficiencia.
- Necesitamos nuevas clasificaciones taxonómicas para el financiamiento de la biodiversidad que no solo respondan cuánto se gasta y en qué hábitat, sino también cómo se desarrollan capacidades, quién se beneficia, dónde se captura el valor y si el resultado es sostenible sin subsidios interminables. Esto puede

hacerse incorporando una nueva etiqueta de inversión productiva orientada a la biodiversidad, junto con reportes de resultados.

- Los bancos de desarrollo pueden desempeñar una función catalizadora de la inversión, ya que pueden movilizar capital paciente, absorber los riesgos de quienes actúan primero y orientar los instrumentos financieros hacia puntos de presión clave en los ecosistemas regionales de innovación basada en la biodiversidad. Más allá del financiamiento, los bancos de desarrollo pueden apoyar la cooperación científica regional, financiar infraestructuras científicas compartidas, incluir componentes de I+D en los préstamos y salvar la brecha entre finanzas y ciencia.
- Las instituciones de financiamiento para el desarrollo como CAF pueden desempeñar un papel clave como artífices de los bienes comunes científicos que sustentan ecosistemas regionales de innovación basada en la biodiversidad, pero solo si existe una mayor integración entre ciencia y política. La voz de las instituciones científicas de ALC es fundamental, ya que reúnen décadas de experiencia y conocimiento de las oportunidades y los retos específicos de los ecosistemas naturales y de innovación local. La Declaración de Chicó-Bogotá para una Biodiversidad Positiva en América Latina y el Caribe: de la Ciencia a la Acción, lanzada en 2024, supone un paso histórico hacia la institucionalización del conocimiento científico en la toma de decisiones políticas y financieras en la región.

Acerca de CAF

CAF es una institución financiera multilateral cuya misión es apoyar el desarrollo sostenible de sus países accionistas y la integración de América Latina y el Caribe. Atiende al sector público y privado, suministrando múltiples productos y servicios a una amplia cartera de clientes formada por los Estados accionistas, empresas privadas e instituciones financieras. En sus políticas de gestión, integra variables sociales y medioambientales, e incluye criterios de ecoeficiencia y sostenibilidad en todas sus operaciones. La Estrategia para el período 2022-2026 busca transformar a CAF en el banco ecológico que impulse el crecimiento sostenible e inclusivo de América Latina y el Caribe, y posicionarla como una región de soluciones ante los desafíos globales. Su formulación fue un ejercicio exhaustivo en el que participaron todas las áreas de la organización y expertos en desarrollo, y se enmarca en la misión de “apoyar a los países accionistas a alcanzar el desarrollo sostenible y la integración regional mediante la oferta de instrumentos financieros y servicios de conocimiento”.



Acerca del centro TIDE de la Universidad de Oxford

El centro de Tecnología e Industrialización para el Desarrollo (TIDE) es un centro de investigación de la Universidad de Oxford. Desde su creación oficial en 2008, ha funcionado como un nodo neurálgico mundial para la investigación interdisciplinaria de vanguardia sobre tecnología e industrialización en los países en desarrollo. Durante casi dos décadas, sus proyectos de investigación se han centrado en profundizar nuestra comprensión colectiva de cómo las capacidades tecnológicas pueden impulsar el desarrollo, ayudando así a que los responsables de políticas cuenten con asesoramiento e información fundamentada que sirvan de base para diseñar lecciones políticas útiles.

Ante el aumento de las disparidades en las capacidades tecnológicas y el reto de lograr la sostenibilidad ecológica, la misión del centro es ampliar las fronteras del conocimiento para que las políticas económicas y de innovación generen prosperidad local y verdadera sostenibilidad para todos.



Tabla de contenidos

Prólogo	16
Resumen ejecutivo	18
1. Biodiversidad en América Latina y el Caribe: de un <i>dilema</i> de desarrollo a un <i>nexo</i> para el desarrollo	25
La biodiversidad en América Latina y sus funciones económicas fundamentales	26
Amenazas a la biodiversidad	28
De un <i>dilema</i> entre biodiversidad y desarrollo a un <i>nexo</i> entre biodiversidad y desarrollo	30
2. La agenda de desarrollo productivo y su urgencia en América Latina y el Caribe	33
Características estructurales de América Latina y exposición a riesgos climáticos y de transición	35
La importancia de la diversificación productiva	38
Innovación, gasto en I+D y las limitaciones vinculantes de la trampa del ingreso medio	38
3. Variedades de modelos económicos basados en la biodiversidad y su impacto diferenciado en el desarrollo productivo	43
El auge del concepto de bioeconomía, sus promesas y sus carencias	45

Pagos por servicios ecosistémicos (PSE) y créditos de biodiversidad	50
Ecoturismo	52
Bioutilización y principios del biocomercio	54
4. Cómo aprovechar la biodiversidad como puerta de entrada a la ciencia e innovación en ALC	58
La biodiversidad como factor crítico para tres tipos de innovaciones	59
De la bioutilización a la innovación bioinspirada: de lo basado en la naturaleza a lo inspirado en la naturaleza	63
El panorama de la innovación bioinspirada en ALC y los vectores para la ampliación de capacidades	64
5. Biointeligencia: la ecologización de la inteligencia artificial como una oportunidad en ALC	70
Descripción general de las oportunidades de la IA y las limitaciones que plantea el uso intensivo de recursos	71
La ecologización de la IA: ¿una oportunidad para ALC?	73
¿Puede la IA aprender de la naturaleza? De una IA de uso intensivo de recursos a una IA simbiótica	74
La bioinspiración como frontera de la innovación para una simbiosis entre la IA y la biodiversidad	75

Obstáculos para la IA simbiótica en ALC	80
6. Maneras de avanzar: inversiones catalizadoras y la función del financiamiento para el desarrollo	82
De un modelo rentista a un modelo de desarrollo para el financiamiento de la biodiversidad: perfeccionamiento de las taxonomías	83
La función del financiamiento direccional y paciente en los ecosistemas de innovación	87
Acercar la voz de la ciencia a la política y el financiamiento para el desarrollo mediante consejos científicos asesores	91
7. Cooperación científica a nivel subregional, nacional, regional e internacional	95
Situar a las instituciones científicas nacionales en el núcleo de los ecosistemas de innovación basada en la biodiversidad: de la creación de capacidad nacional a la regional	96
Disparidades subregionales y desafío territorial para las zonas biodiversas de ALC	102
La cooperación científica internacional y la cuestión de la soberanía del conocimiento	106
8. Conclusiones: cómo construir la próxima frontera de innovación en América Latina y el Caribe	109
Lista de referencias	113

Lista de figuras

Figura 1: Distribución de los grandes ecosistemas marinos y biomas terrestres en América Latina y el Caribe	27
Figura 2: Índice de biodiversidad según la cantidad total de especies de anfibios, aves, peces, mamíferos, reptiles y plantas vasculares, por país.	28
Figura 3: El papel de las finanzas en las interacciones viciosas o virtuosas entre biodiversidad y economía	30
Figura 4: Naciones dependientes de materias primas en ALC por principal grupo de productos de exportación, 2019-2021	35
Figura 5: Gasto en investigación y desarrollo por regiones del mundo (% del PIB) en los últimos años disponibles	39
Figura 6: 8. Mapas de los centros de I+D seleccionados en América Latina y el Caribe	40
Figura 7: La trampa del ingreso medio: tres tipos de estrategias y el papel de la biodiversidad	41
Figura 8: Porcentaje de operadores de ecoturismo con sede en los EE. UU. que ofrecen productos por país	53
Figura 9: Ejemplos seleccionados de bioingredientes, sus orígenes y usos industriales en América Latina y el Caribe	55
Figura 10: Evolución de la investigación y las patentes relacionadas con la biomimesis (Índice Da Vinci)	62

Lista de tablas

Figura 11: Impacto previsto de la innovación bioinspirada en el empleo en 2030 _____ 62

Figura 12: De la biodiversidad al valor de la I+D. Formas, procesos y ecosistemas _____ 63

Figura 13: 11. Correspondencia entre obstáculos para la innovación basada en la biodiversidad y las posibles soluciones _____ 69

Figura 14: De una IA de uso intensivo de recursos a una simbiótica _____ 74

Figura 15. Mapa visual del atlas de soluciones de la naturaleza _____ 79

Figura 16: Cooperación e interacción de las distintas partes interesadas en un ecosistema de innovación basada en la biodiversidad _____ 88

Figura 17: Modelos de participación científica en las instituciones responsables de la toma de decisiones _____ 92

Figura 18: Índice de innovación subregional en las principales economías de ALC _____ 103

Tabla 1: Lista de estrategias nacionales en materia de bioeconomía en América Latina y el Caribe _____ 46

Tabla 2: Servicios comercializables basados en la biodiversidad: fortalezas y limitaciones _____ 49

Tabla 3: Tres tipos de estrategias de innovación basada en la biodiversidad _____ 61

Tabla 4: Empresas emergentes y firmas seleccionadas en ALC en función de la innovación bioinspirada _____ 65

Tabla 5: Ejemplos de soluciones energéticas sostenibles bioinspiradas _____ 76

Tabla 6: Defectos y áreas de mejora de las taxonomías para el seguimiento del financiamiento para el desarrollo basado en la biodiversidad _____ 86

Tabla 7: Lista de los principales institutos nacionales de biodiversidad en ALC _____ 98



Prólogo



América Latina y el Caribe albergan más de la mitad de la biodiversidad del planeta. Esta riqueza no es solo una responsabilidad medioambiental global, sino también uno de los motores de desarrollo más potentes de la región. Sin embargo, durante mucho tiempo, la biodiversidad se ha tratado como algo que hay que preservar, no como algo de lo que aprender. En CAF creemos que la sostenibilidad y el desarrollo deben ir de la mano. Las crisis duales del cambio climático y la pérdida de biodiversidad han puesto de manifiesto los límites de los modelos de crecimiento extractivo, pero también han abierto nuevas oportunidades para la innovación.

Este reporte, elaborado en colaboración entre CAF y Amir Lebdioui, de la Universidad de Oxford, llega en un momento decisivo. Nos invita a ver la biodiversidad desde una nueva perspectiva: como el cimiento de una economía más inclusiva, resiliente y basada en el conocimiento. América Latina y el Caribe ya no pueden permitirse seguir siendo proveedores de materias primas o muestras de biodiversidad. Debemos convertirnos en creadores de valor e innovación, transformando nuestra riqueza biológica en ideas, productos y soluciones que sirvan tanto a las personas como al planeta. Ese es el mensaje central y la intención de este trabajo.

Los resultados aquí expuestos refuerzan la propia visión de CAF: el financiamiento para el desarrollo debe evolucionar. Durante mucho tiempo, el financiamiento de la biodiversidad se ha centrado principalmente en la conservación, pero no en los medios de vida. Aunque estos esfuerzos siguen siendo fundamentales, no son suficientes. Los bancos de desarrollo como CAF tienen un papel único que desempeñar como puente entre estas agendas: proporcionando capital paciente, fomentando la innovación y catalizando asociaciones entre gobiernos, instituciones científicas y el sector privado.



CAF está impulsando esta visión a través de iniciativas como la Declaración de Chicó, que aboga por integrar la ciencia en las políticas públicas y las finanzas, y mediante esfuerzos para fortalecer las redes regionales de infraestructura de investigación, datos e innovación.

Esta publicación también refleja el creciente compromiso de CAF con una agenda para la biodiversidad positiva: una que reconozca que la naturaleza y el desarrollo no son fuerzas opuestas sino socios inseparables. La tarea que queda por delante es ampliar este enfoque, incorporando la biodiversidad a las estrategias industriales, los sistemas educativos y los instrumentos financieros de toda la región. Las oportunidades son inmensas, pero también lo son las responsabilidades.

En CAF, vemos este reporte no como un fin, sino como un punto de partida y una valiosa contribución al diálogo regional sobre cómo América Latina y el Caribe pueden liderar el mundo en la era de la innovación basada en la biodiversidad. Ha llegado el momento de pasar de proteger la biodiversidad a aprender, innovar y prosperar con ella.

Alicia Montalvo

**Gerente de Acción Climática y Biodiversidad Positiva,
CAF — banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.**

Resumen ejecutivo

De un dilema entre biodiversidad y desarrollo a un nexo entre biodiversidad y desarrollo

La región de América Latina y el Caribe (ALC) es un área clave para la biodiversidad global, lo que la convierte en un actor crítico para la salud de nuestro planeta y en la agenda de sostenibilidad. Hogar de una inmensa parte de los mamíferos, reptiles, aves y anfibios del planeta, la región proporciona servicios ecosistémicos de los que se beneficia todo el mundo y ha sido pionera en el reconocimiento jurídico de los derechos de la naturaleza. Sin embargo, frente a las urgentes necesidades de desarrollo económico y generación de empleo, la biodiversidad sigue estando bajo presión debido a los modelos extractivistas que priorizan las ganancias a corto plazo. Este reporte sostiene que la biodiversidad no es solo un activo natural que debe preservarse, sino una frontera productiva que hay que cultivar, que es capaz de anclar la transformación estructural, el empleo de calidad y la resiliencia medioambiental. Los riesgos económicos y ecológicos de la integración de las economías de ALC como proveedoras de materias primas en las cadenas de valor globales se ven reforzados en el contexto de la transición hacia una economía baja en carbono, dada la riqueza de la región en minerales críticos que son necesarios como insumos para las tecnologías de bajo carbono. **Sin embargo, el material más crítico del que dispone la región no son los metales extraídos, sino su rica biodiversidad.**

Surgen muchas preguntas: ¿Cuáles son las principales tensiones entre la biodiversidad y el desarrollo productivo? ¿Cómo se relaciona la biodiversidad con el desafío de la trampa del ingreso medio? ¿Cuáles son las deficiencias de las estrategias actuales en materia de bioeconomía? ¿Cómo puede aprovecharse realmente la biodiversidad para alimentar una nueva era de innovación tecnológica en ALC? ¿Cuál es la función de los bancos de desarrollo en este proceso?

La necesidad de replantearse la relación entre la biodiversidad y el desarrollo económico es urgente. De cara al futuro, los países de ALC tienen una oportunidad única de aprovechar su biodiversidad de manera que trascienda esa falsa dicotomía entre naturaleza y desarrollo productivo. Para ello, en este reporte se revisan los diferentes modelos que se pueden aplicar para que la biodiversidad de la región impulse el desarrollo productivo, y se hace hincapié en lo importante que es integrar la biodiversidad en las estrategias de desarrollo económico, industrial y de innovación en toda la región de ALC, antes de analizar las limitaciones vinculantes y las vías políticas para lograr un *nexo* virtuoso entre biodiversidad y desarrollo.

Más allá de los modelos bioextractivistas

Desde esa perspectiva, a partir de la década de 1990, ALC ha sido testigo de una serie de iniciativas pioneras para aprovechar el valor económico de la biodiversidad, con diversos resultados y niveles de éxito. Los experimentos de la región con diferentes tipos de actividades basadas en la biodiversidad, que van desde el pago por servicios ecosistémicos, el ecoturismo o la bioprospección, ofrecen lecciones fundamentales.

Muchos gobiernos de ALC se han volcado cada vez más hacia la llamada “bioeconomía”, que puede definirse como la producción, el uso y la conservación de recursos biológicos para proporcionar información, productos, procesos y servicios en diversos sectores económicos. En los últimos años, muchos gobiernos, como los de Argentina, Brasil, Colombia y Costa Rica, han publicado estrategias en materia de bioeconomía para promover el desarrollo sostenible. Sin embargo, la bioeconomía abarca una amplia gama de actividades que presentan diversos grados de extractivismo e impacto en la naturaleza. Por ejemplo, muchas actividades basadas en la agricultura (como la bioutilización del açaí) provocan deforestación y pérdida de biodiversidad cuando se amplían.

Por ello, este reporte aclara que no toda la “bioeconomía” es desarrollo. Si no se controlan, algunas partes de la bioeconomía pueden simplemente biologizar el viejo extractivismo, reemplazando la materia prima fósil por una biológica mientras se mantiene la captura desigual de valor, el escaso aprendizaje y la presión ecológica. En el reporte se distinguen las distintas variedades de modelos económicos basados en la biodiversidad, desde el pago por servicios ecosistémicos/créditos de biodiversidad, el ecoturismo, la bioutilización y la bioinspiración. Cada uno de esos modelos presenta ventajas y limitaciones, y su desarrollo se debe evaluar minuciosamente para evitar consecuencias económicas y medioambientales negativas. **Sin embargo, el potencial de la región se ha visto limitado por un estrecho enfoque en la bioutilización, prestando mucha menos atención a otros tipos de campos de innovación centrada en la biodiversidad que tienen un alto potencial de disrupción tecnológica.** La bioutilización (o bioprospección) implica usar materiales biológicos (p. ej., ácidos orgánicos y compuestos fenólicos de frutas como el açaí) con fines económicos (y el desarrollo de soluciones mediante ese proceso suele orientarse hacia las industrias agrícola, farmacéutica y cosmética). Por su parte, la bioinspiración implica aprender de las soluciones innovadoras que se encuentran en la naturaleza para resolver retos humanos, en especial en la fabricación, la construcción y la energía. **La innovación bioinspirada sigue siendo el modelo económico basado en la biodiversidad menos explorado en toda ALC, aunque ofrece la vía más escalable y menos limitada desde el punto de vista**

ecológico para el desarrollo productivo y tecnológico a largo plazo, ya que se basa en los principios de diseño de la naturaleza en lugar de la extracción continua de biomasa. Como este método de innovación no depende de la extracción de ningún material físico de la naturaleza, no presenta los mismos límites ecológicos de escalabilidad que la bioutilización. Un *nexo* virtuoso entre biodiversidad y desarrollo requiere pasar de la explotación de la biodiversidad al aprovechamiento del potencial de la biodiversidad, con el fin de impulsar innovaciones que ayuden a ampliar la frontera tecnológica en numerosos campos, como la biotecnología, las energías renovables, la movilidad y la tecnología digital. Sin embargo, el desarrollo de más innovaciones bioinspiradas también podría correr un riesgo similar, al concentrarse en grandes empresas privadas que, a menudo, practican la biopiratería. Para garantizar que los beneficios económicos de la innovación bioinspirada lleguen a las poblaciones marginadas de las zonas rurales de los países, se deben crear capacidades sólidas a nivel local y protecciones específicas en materia de derechos de propiedad intelectual para la bioinspiración, ya que esta se encuentra entre las grietas del protocolo de Nagoya sobre el uso de los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales asociados.

La biodiversidad como vector para la ciencia e innovación en América Latina y el Caribe

La innovación no es un resultado del desarrollo, sino un medio para alcanzar el desarrollo económico; es por ello que las capacidades de innovación son una limitación vinculante clave para la trampa del ingreso medio. En América Latina y el Caribe, las bajas tasas de inversión en I+D han contribuido considerablemente al estancamiento económico y la persistencia de la trampa del ingreso medio en muchas naciones. El gasto promedio en I+D de la región (en porcentaje del Producto Interno Bruto [PIB]) es de los más bajos del mundo (<0,6 %), y más de la mitad del poco gasto en I+D existente se financia con fondos públicos, lo que supone una limitación fiscal para aumentar la tasa de inversión. **Para alcanzar el promedio mundial de gasto en I+D como porcentaje del PIB, el volumen de gasto en I+D que se necesita para cerrar la brecha en ALC debe aumentar de los USD 35 mil millones anuales de hoy a un mínimo de USD 130 mil millones anuales.** Las inversiones catalizadoras de los bancos de desarrollo nacionales y regionales, como CAF, serán decisivas a la hora de alcanzar este objetivo, sobre todo atrayendo más inversiones privadas hacia la I+D.

Pero, además del volumen de inversión en I+D, también es importante el rumbo de las iniciativas en materia de I+D para dar el salto hacia la frontera de la innovación. En este sentido, aunque la innovación centrada en la biodiversidad presenta enormes

oportunidades como banco de ideas para la innovación, diversos obstáculos en materia de financiamiento, incoherencias políticas y factores institucionales han llevado a que persistan importantes fallos de coordinación que dificultan la expansión y difusión de la I+D basada en la biodiversidad. Con frecuencia, la creación y el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas no han sido fáciles en las economías de ALC, debido a la presencia no solo de fallos del mercado, sino también del sistema y el aprendizaje. Más concretamente, los obstáculos identificados que impiden que la innovación basada en la biodiversidad alcance todo su potencial en ALC comprenden el acceso limitado a la infraestructura física y digital relacionada con la investigación de la biodiversidad, lo que incluye la falta de coordinación y armonización entre los sistemas taxonómicos existentes para facilitar el mapeo y estudio de material genético existente; la falta de una masa crítica de capital humano con el tipo adecuado de capacitación multidisciplinaria a lo largo de todo el ciclo de vida de la innovación centrada en la biodiversidad; la biopiratería; el inadecuado apoyo financiero a la ciencia y la innovación, los elevados costos de funcionamiento de los laboratorios y la debilidad de los mecanismos para garantizar financiamiento a largo plazo o no reembolsable para desarrollar empresas derivadas y ampliar y comercializar soluciones innovadoras basadas en la naturaleza, lo que lleva a los innovadores de ALC a depender en exceso de pequeñas subvenciones.

La paradoja del panorama de la bioinnovación en ALC es que **las zonas más ricas en materia de biodiversidad suelen ser las más pobres en términos de generación de valor a partir de los recursos de capacidad científica y tecnológica.** Las provincias de la Amazonia, el Caribe y el Pacífico concentran la riqueza biológica, pero tienen la menor densidad de laboratorios, universidades de investigación y financiamiento para la innovación. Esta desigualdad territorial refleja una dinámica más amplia de centro-periferia dentro de los países, lo que da lugar a un patrón de extractivismo cognitivo: las muestras biológicas y los conocimientos tradicionales fluyen de las regiones periféricas a los laboratorios centrales, mientras que las actividades de valor añadido y las patentes permanecen concentradas en otros lugares. Abordar estas disparidades no es solo una cuestión de equidad, sino de eficiencia: los sistemas de innovación que excluyen a los territorios de mayor potencial biológico son, por definición, ineficaces y no aprovechan todo su potencial.

Cuando el financiamiento de la biodiversidad se encuentra con el financiamiento para el desarrollo: de un modelo rentista a uno productivo dirigido por bancos de desarrollo

América Latina y el Caribe se encuentran al borde de una formidable oportunidad para redefinir la relación de sus sistemas económicos con la naturaleza, con una visión positiva de la biodiversidad que encierra un gran potencial para configurar nuestro futuro tecnológico y planetario. Pero, para aprovechar plenamente este potencial, es necesaria una transformación radical para que los actores nacionales pasen de ser consumidores estrictamente tecnológicos a proveedores de tecnología, y de ser seguidores de los mercados a convertirse en formadores de mercado. Para ello, se requiere una reorientación de las políticas económicas, industriales, medioambientales y de innovación, pero también instrumentos de financiamiento que valoren la transformación a largo plazo por encima de las ganancias a corto plazo. Esto implica tanto un aumento drástico del financiamiento de la biodiversidad como su *integración estratégica* con el financiamiento para el desarrollo.

Históricamente, el financiamiento de la biodiversidad ha recibido mucha menos atención y recursos que los destinados al cambio climático, a pesar de tener la misma importancia (y quizá incluso mayor) para la sostenibilidad ecológica en ALC. Sin embargo, existe una clara tendencia al alza en el gasto en materia de biodiversidad. Los objetivos de financiamiento de la biodiversidad acordados en los foros internacionales han aumentado (especialmente en la 15.^a Conferencia de las Partes [COP15], para movilizar al menos USD 200 mil millones anuales de todas las fuentes para el financiamiento de la biodiversidad; consulte Naciones Unidas [ONU] 2025) y, en América Latina, el gasto en biodiversidad ha superado con creces el de las demás regiones (se ha multiplicado por seis, pasando de unos 500 millones a más de 3 mil millones en 2017), lo que refleja con claridad el interés y el liderazgo de la región en esta agenda. No obstante, **ALC se encuentra notablemente rezagada en lo que respecta al financiamiento para el desarrollo específico de la biodiversidad y relacionado con esta.** Con un promedio de USD 3,2 mil millones anuales en la última década, ALC se sitúa por detrás de África y Asia en cuanto a financiamiento para el desarrollo relacionado con la biodiversidad.

No obstante, uno de los principales retos radica en los parámetros que actualmente se usan para evaluar el financiamiento de la biodiversidad, que a menudo miden las

fuentes de financiamiento (p. ej., financiamiento de las instituciones financieras para el desarrollo) usando códigos y clasificaciones que dependen de los donantes, en lugar de reflejar los resultados y las prioridades en torno al desarrollo. Mientras que las taxonomías actuales de financiamiento de la biodiversidad se construyen para medir el financiamiento y etiquetar las categorías de conservación (ya sean áreas protegidas, programas de especies, restauración), no explican lo que ese dinero hace por los medios de vida, las capacidades productivas o la resiliencia económica a largo plazo. Como resultado, las taxonomías actuales son débiles en zonas donde la política necesita más claridad: qué tipo de financiamiento de la biodiversidad es realmente financiamiento para el desarrollo y cómo este influye en la creación de empleos, la capacitación y la modernización de las empresas a lo largo del tiempo. El resultado es que, si queremos que la política cambie, primero debe cambiar la taxonomía.

Necesitamos una clasificación que no solo responda *cuánto se gasta y en qué hábitat*, sino también *cómo se desarrollan capacidades, quién se beneficia, dónde se captura el valor y si el resultado es sostenible sin subsidios interminables.*

Para abordar estas brechas, se debe cambiar el paradigma en términos de definición, medición y seguimiento del financiamiento de la biodiversidad. En este sentido, si se introduce una nueva familia de etiquetas/códigos para el financiamiento del desarrollo productivo orientado a la biodiversidad, se puede revisar la taxonomía del financiamiento de la biodiversidad para que identifique claramente las actividades orientadas al desarrollo productivo. La adopción de este enfoque (que separaría los bienes públicos y de conservación de las inversiones productivas en biodiversidad, y exigiría informar sobre los resultados de desarrollo) no solo especificaría los flujos de financiamiento de la biodiversidad, sino que también ayudaría a los responsables de la toma de decisiones a comprender mejor la interacción entre el financiamiento de la biodiversidad y el desarrollo sostenible, y abordar las brechas de financiamiento.

Las instituciones de financiamiento para el desarrollo también desempeñan un papel clave a la hora de abordar las brechas de financiamiento transformador a largo plazo que requieren las innovaciones transformadoras basadas en la biodiversidad. En ALC, el financiamiento público para la I+D basada en la biodiversidad no ha sido óptimo, y se prevé que afronte fuertes limitaciones debido a las presiones fiscales en muchos de sus países. Al mismo tiempo, el sector bancario nacional y el capital privado han mostrado una actitud conservadora frente al riesgo y, a menudo, no ofrecen las condiciones que permitan un capital paciente y a largo plazo para el desarrollo de tecnologías en su fase inicial, en especial cuando los beneficios de la innovación solo pueden esperarse en un futuro lejano.

En esa perspectiva, junto con su función catalizadora de la inversión y su horizonte a largo plazo, los bancos de financiamiento para el desarrollo, en especial los que tienen un mandato regional como CAF, pueden movilizar capital paciente, absorbiendo los riesgos de quienes actúan primero y orientando los instrumentos financieros hacia

puntos de presión clave en los ecosistemas regionales de innovación basada en la biodiversidad. Pueden integrar componentes de I+D en los préstamos, cofinanciar empresas basadas en la biodiversidad, apoyar infraestructuras científicas en territorios biodiversos y promover mecanismos regionales de aprendizaje compartido e intercambio científico. De este modo, pueden cambiar la trayectoria de desarrollo de la región, de una basada en las rentas de los recursos naturales a otra fundamentada en el conocimiento, las capacidades y la creación de valor.

Sin embargo, las instituciones de financiamiento para el desarrollo como CAF no pueden desempeñar su función de financiadoras pasivas a artífices de los bienes comunes científicos que sustentan ecosistemas regionales de innovación basada en la biodiversidad, si no cuentan con una mayor integración de políticas y ciencia, y circuitos de retroalimentación con las comunidades científicas locales, nacionales y regionales. La voz de las instituciones científicas de ALC es fundamental, ya que reúnen décadas de experiencia y conocimiento de las oportunidades y los retos específicos de los ecosistemas de innovación local. Un buen ejemplo de ello es la Declaración de Chicó-Bogotá para una Biodiversidad Positiva en América Latina y el Caribe, lanzada en 2024 bajo el liderazgo de CAF. Esta Declaración representa un compromiso histórico para cerrar la brecha de larga data entre la ciencia, la política y las finanzas en torno a cuestiones de biodiversidad en América Latina y el Caribe. Hace hincapié en un modelo en el que las instituciones científicas (universidades, institutos de biodiversidad y redes de conocimiento) se convierten en socios reconocidos en la gobernanza del capital natural y en el diseño de políticas de inversión positivas para la biodiversidad. La adopción de esta declaración por parte de CAF supone la primera vez que un banco de desarrollo regional del Sur Global sitúa explícitamente la ciencia como motor de su estrategia de inversión en biodiversidad. Al impulsar su implementación, CAF puede ayudar a construir el tejido conectivo que falta en el ecosistema de innovación de la región.

En conclusión, si bien la biodiversidad representa una inmensa oportunidad para impulsar el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe, en este reporte se detalla por qué y cómo aprovechar esta oportunidad requiere ir más allá de los modelos tradicionales de conservación y adoptar agendas transformacionales para proteger el valor ecológico de la biodiversidad y aprovechar su valor de innovación. La implementación de esta visión desarrollista de la biodiversidad exigirá aumentar y reorientar las inversiones y el financiamiento de la biodiversidad, así como una mayor coordinación entre una serie de partes interesadas, como los sectores público y privado, las comunidades científicas, las comunidades locales y las instituciones financieras. Históricamente, esta coordinación no ha sido tarea fácil en ALC, pero de ella depende en gran medida la capacidad de la región para saltar a la frontera del desarrollo y dar forma al siglo XXI. **La necesidad de adoptar un pensamiento ecosistémico que reconozca la interconexión de todas las partes interesadas es quizás la mayor lección que puede extraerse de los ricos ecosistemas naturales de la región.**

1.



Biodiversidad en América Latina y el Caribe: de un *dilema* de desarrollo a un *nexo* para el desarrollo

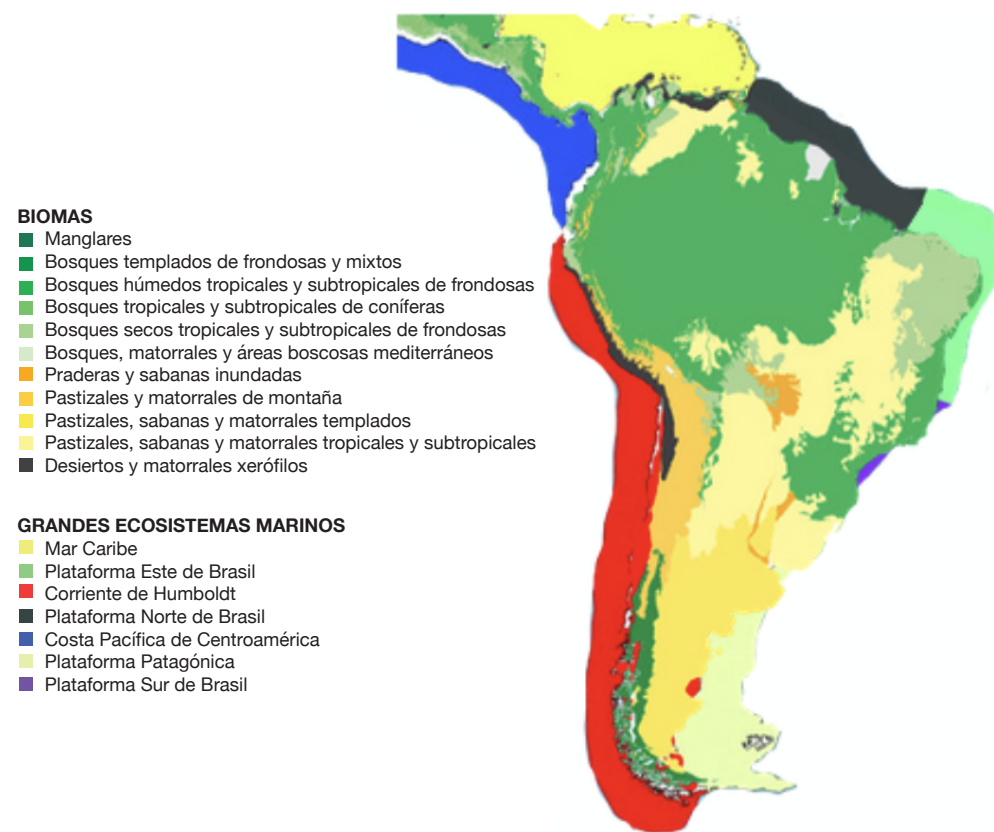
1. Biodiversidad en América Latina y el Caribe: de un *dilema* de desarrollo a un *nexo* para el desarrollo

La biodiversidad en América Latina y sus funciones económicas fundamentales

América Latina y el Caribe (ALC) se caracterizan por tener una geografía y unos ecosistemas naturales singulares, que albergan centros mundiales de biodiversidad, lo que la convierte en una región crítica para la salud de nuestro planeta. La región alberga el 33 % de los mamíferos, el 35 % de los reptiles, el 41 % de las aves y el 50 % de los anfibios del mundo (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2010). Más de la mitad de las 13 naciones con mayor biodiversidad del mundo se encuentran en América Latina (consulte la figura 1).

Los gobiernos de la región han sido pioneros en el reconocimiento de los derechos de la naturaleza, y varios han realizado importantes esfuerzos para proteger y valorizar su rico patrimonio biológico. Por ejemplo, actualmente existen más de 9.000 Áreas Protegidas en América Latina y el Caribe, que cubren el 22 % de su superficie terrestre y marina (CAF, 2023). Mientras tanto, países como Ecuador y Bolivia han consagrado explícitamente los derechos de la naturaleza en sus constituciones nacionales, y siguen siendo los dos únicos países del mundo que lo han hecho.

Fig. 1 | Distribución de los grandes ecosistemas marinos y biomas terrestres en América Latina y el Caribe.

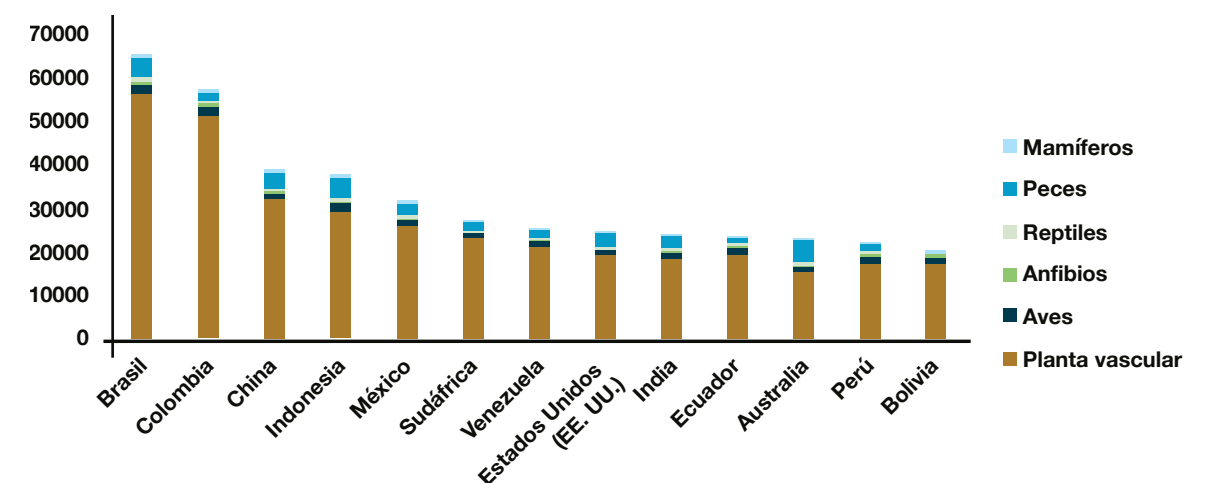


Fuente: Elaboración basada en cifras proporcionadas por CAF (2023) y Sherman y Hempel (2009).

Los ecosistemas naturales de la región prestan servicios vitales que benefician a diversas industrias. Estos beneficios, conocidos como servicios ecosistémicos, abarcan el suministro de alimentos, agua dulce, medicinas y materiales, y son indispensables para el desarrollo humano y económico (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005; Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas [IPBES, por sus siglas en inglés], 2019). Por ejemplo, la selva amazónica almacena por sí sola una reserva de carbono equivalente a nueve años de emisiones mundiales de combustibles fósiles, lo que contribuye al esfuerzo global contra el cambio climático (Baccini et al., 2012). La protección de la biodiversidad también tiene un gran valor recreativo. El ecoturismo generará más del 26 % del PIB total en el Caribe en 2020 y más del 10 % en América Latina (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020). La protección del medioambiente también es fundamental para la producción de alimentos, que depende en gran medida de la regulación natural del ciclo del agua, por ejemplo. Gracias a su impacto medioambiental, esos servicios ecosistémicos son también un motor del desarrollo económico y la salud planetaria.

Como tal, la región proporciona servicios ecosistémicos críticos de los que se beneficia todo el mundo. Pero, ¿hasta qué punto la región ha aprovechado plenamente el valor de la biodiversidad para su propio desarrollo? En muchos sentidos, no podemos desvincular la conversación sobre biodiversidad de la conversación sobre estrategias para el desarrollo económico e industrial. De hecho, las políticas de desarrollo de América Latina y el Caribe se centraron en el aprovechamiento de sus recursos naturales, priorizando las necesidades económicas a corto plazo, en detrimento de la sostenibilidad de la actividad económica y la preservación de los ecosistemas. Ante la necesidad de desarrollo económico y creación de empleo, la biodiversidad de ALC se ve amenazada por modelos económicos que priorizan la extracción y los beneficios económicos a corto plazo, como se explica a continuación.

Fig. 2 | Índice de biodiversidad según la cantidad total de especies de anfibios, aves, peces, mamíferos, reptiles y plantas vasculares, por país.



Fuente: Datos recopilados en Mongabay, con datos del Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2004; Fishbase; Birdlife International; AmphibiaWeb; Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN); y Reptile Database

Amenazas a la biodiversidad en América Latina

América Latina y el Caribe se enfrentan a importantes amenazas que ponen en peligro sus ecosistemas únicos. Uno de los principales motivos de la pérdida de bosques en la región es la deforestación para la agricultura y la ganadería, sobre todo en la selva amazónica. Entre agosto de 2023 y julio de 2024, se destruyeron aproximadamente 6.288 km² de bosque (Meyerfeld, 2024). Aunque ha habido avances (con una reducción de las tasas de deforestación en los últimos años), la pérdida acumulada sigue siendo sustancial, impulsada principalmente por la expansión agrícola, la tala ilegal y el desarrollo de infraestructura.

Además, la sobreexplotación de los recursos naturales supone una importante amenaza para la biodiversidad. Las prácticas pesqueras no sostenibles han disminuido las poblaciones de peces, en especial en las zonas costeras de Perú y Chile. Del mismo modo, el comercio ilegal de fauna silvestre es un problema persistente, con muchas especies cazadas o capturadas para los mercados internacionales. La minería y la extracción de petróleo degradan aún más los ecosistemas al contaminar los cursos de agua, destruir los hábitats y desplazar a las comunidades locales. En conjunto, estas actividades reflejan el desafío más amplio de equilibrar el desarrollo económico con la protección del medioambiente, poniendo de relieve la necesidad urgente de implementar prácticas sostenibles y políticas de conservación más sólidas en la región.

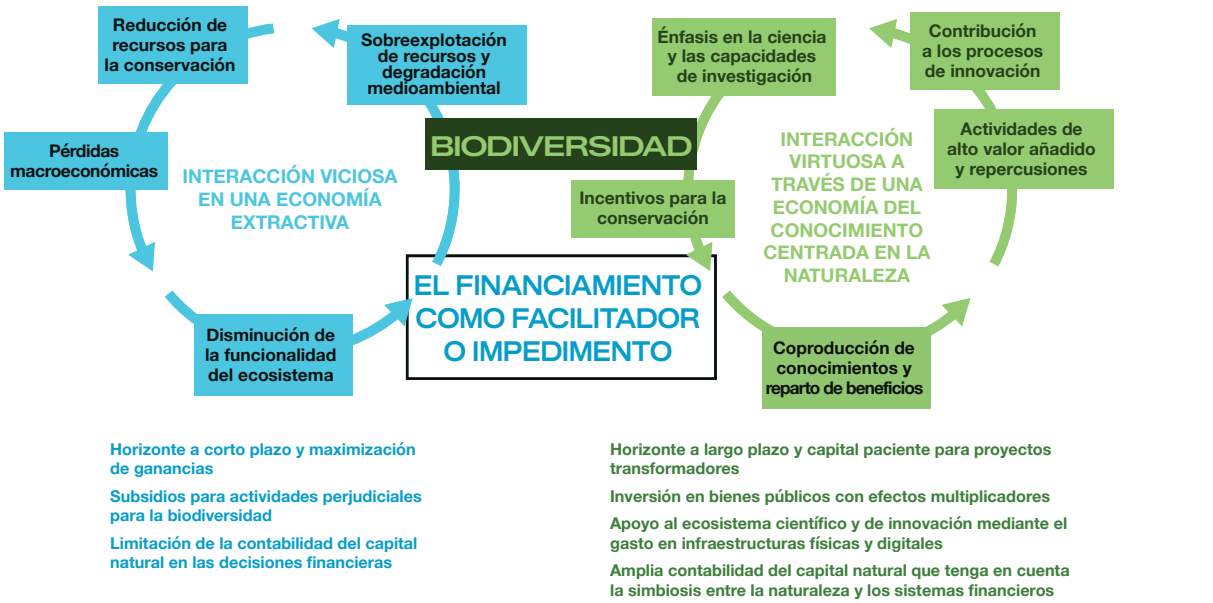
El cambio climático agrava aún más la pérdida de biodiversidad en la región. La alteración de los patrones de precipitaciones y el aumento de las temperaturas han provocado sequías más frecuentes y severas, lo que ha afectado a ecosistemas como los humedales del Pantanal, que sufrieron más de 2.500 incendios en 2024, lo que supone un aumento del 1.776 % en comparación con el mismo período del año anterior, devastando aproximadamente 372.000 hectáreas (Meyerfeld, 2024). Estos cambios climáticos amenazan a las especies adaptadas a condiciones ambientales específicas, provocando el declive de sus poblaciones y, en algunos casos, su extinción.

En resumen, la histórica dependencia de modelos extractivistas para el desarrollo de muchas economías de ALC, con una marcada dependencia de las exportaciones de materias primas, ha ocurrido en detrimento de la sostenibilidad tanto económica como ambiental. Paradójicamente, los riesgos económicos y ecológicos se ven exacerbados por la transición mundial hacia una economía baja en carbono, dada la integración de las economías de ALC como proveedores de materias primas y minerales críticos en las cadenas de valor mundiales. Además, esto refleja las tensiones que pueden surgir en una lucha global contra el cambio climático que no incluya consideraciones sobre la biodiversidad. De hecho, aunque la riqueza de minerales críticos de ALC ha estado a menudo en el centro de los planes de la economía ecológica, el material más crítico del que dispone la región no son los metales extraídos, sino su rica biodiversidad, que aún debe integrarse por completo en la agenda de desarrollo productivo.

De un dilema entre biodiversidad y desarrollo a un nexo entre biodiversidad y desarrollo

La necesidad de replantearse la relación entre la biodiversidad y el desarrollo económico es urgente. En muchos sentidos, la biodiversidad no es solo un activo natural que hay que preservar, sino también un posible motor para el desarrollo económico sostenible. Lejos de ser un obstáculo para el desarrollo, la biodiversidad puede aprovecharse para la prosperidad económica, la innovación y la sostenibilidad a largo plazo. Haciendo eco al llamamiento de Carlos Nobre a una “Tercera vía para la Amazonia”, la biodiversidad debe convertirse en motor de la bioindustrialización y la resiliencia climática, en lugar de la deforestación y la extracción. La visión de Nobre de una bioeconomía amazónica de bosques en pie resuena con el uso de la biodiversidad impulsado por la innovación como base de un nuevo modelo de desarrollo en la región (Nobre, 2018, 2019).

Fig. 3 | El papel de las finanzas en las interacciones viciosas o virtuosas entre biodiversidad y economía.



De cara al futuro, los países de ALC tienen, por lo tanto, una oportunidad única de aprovechar su biodiversidad de manera que trascienda la dicotomía entre naturaleza y desarrollo productivo. Para ello, en este reporte se revisan los diferentes modelos que se pueden aplicar para que la biodiversidad de la región impulse el desarrollo productivo, y se hace hincapié en lo importante que es integrar la biodiversidad en las estrategias de desarrollo económico, industrial y de innovación en toda la región de

ALC, antes de analizar las limitaciones vinculantes y las vías políticas para lograr un *nexo* virtuoso entre biodiversidad y desarrollo.

En una economía extractiva, existe una interacción viscosa entre la biodiversidad y el desarrollo económico. Dicha interacción se caracteriza por la sobreexplotación de los recursos y la degradación del medioambiente, lo que disminuye la funcionalidad de los ecosistemas. Esto a su vez, se traduce en pérdidas macroeconómicas y menores recursos destinados a los esfuerzos de conservación. A medida que los ecosistemas se degradan, disminuye su capacidad para prestar servicios esenciales, como la filtración de agua, la retención de carbono y la fertilidad del suelo, lo que agrava aún más los desafíos económicos. Este ciclo perpetúa el daño medioambiental y debilita la sostenibilidad financiera tanto de los ecosistemas como de las economías que dependen de los recursos naturales.

Sin embargo, en la economía del conocimiento centrada en la naturaleza, la biodiversidad se integra en el núcleo de la actividad económica, en la que la ciencia y la innovación permiten el uso sostenible de la biodiversidad para la mejora económica. Según este enfoque, la innovación bioinspirada complementa la implementación de fuertes protecciones medioambientales y la promoción de esfuerzos de conservación, ya que las aportaciones de la biodiversidad alimentan actividades y procesos de innovación de alto valor añadido, como la bioinspiración, la biomímesis y el desarrollo de productos sostenibles (consulte la sección 4). Estas actividades incentivan los esfuerzos de conservación al demostrar que los ecosistemas pueden proporcionar valor económico a largo plazo sin degradarse.

Como se muestra en la figura 3, las finanzas desempeñan un papel fundamental a la hora de determinar la trayectoria de las interacciones entre la biodiversidad y los sistemas económicos, ya sea hacia un camino vicioso o virtuoso. Bajo el modelo extractivo, los sistemas financieros priorizan las ganancias a corto plazo y las actividades que perjudican a la biodiversidad mediante subvenciones para actividades como la agricultura industrial o la extracción de combustibles fósiles. Hasta el momento, y a nivel mundial, las subvenciones perjudiciales para el medioambiente son bastante mayores que los volúmenes de financiamiento para el desarrollo y la biodiversidad juntos. Pero, en lugar de ser un impedimento para la biodiversidad positiva, el financiamiento también puede ser un facilitador. En una economía del conocimiento centrada en la naturaleza, se priorizan las inversiones con un horizonte a largo plazo y el capital paciente para proyectos transformadores, que sienten las bases del desarrollo sostenible. Una integración sistemática de la naturaleza a través de la contabilidad del capital natural permite alinear los objetivos económicos con la preservación ecológica.

Así pues, es posible una economía diferente basada en la biodiversidad en América Latina y el Caribe. Sin embargo, esto requiere una reorientación transformadora de los sistemas financieros para priorizar la conservación, la innovación y la equidad, como se explica con más detalle en la sección 5. Al alinear las actividades económicas con las realidades ecológicas, el círculo virtuoso puede convertirse en un modelo de resiliencia y sostenibilidad.

2.



**La agenda
de desarrollo
productivo y
su urgencia en
América Latina
y el Caribe**

2. La agenda de desarrollo productivo y su urgencia en América Latina y el Caribe

Muchas economías de América Latina y el Caribe (ALC) se encuentran en una coyuntura crítica y afrontan retos estructurales que persisten desde hace décadas. El modelo económico de la región, caracterizado por una fuerte dependencia de las exportaciones de materias primas, una diversificación industrial limitada y una inversión insuficiente en innovación, está cada vez más amenazado. Los choques externos, incluidos la volatilidad de los mercados mundiales y los riesgos inducidos por el clima, agravan estas vulnerabilidades, subrayando la necesidad de implementar una agenda sólida para el desarrollo productivo. Esta agenda no es un mero imperativo económico, sino una vía para garantizar la resiliencia social, medioambiental y económica en medio de profundas transformaciones. En esa perspectiva, la biodiversidad puede ser un excelente activo para redefinir nuevas vías para el desarrollo productivo. Como argumentaron Raúl Prebisch (1950) y los estructuralistas latinoamericanos, los retos del desarrollo en la región no tienen que ver simplemente con las tasas de crecimiento, sino con las asimetrías estructurales en la producción, el comercio y el aprendizaje tecnológico. Estas ideas siguen siendo fundamentales en la era de la biodiversidad: la abundancia de recursos naturales se debe canalizar a través del aprendizaje, la innovación y la diversificación, en lugar de reforzar la dependencia.

Características estructurales de América Latina y exposición a riesgos climáticos y de transición

Muchos países de ALC dependen en gran medida de la exportación de materias primas y productos de bajo valor añadido, como bienes agrícolas, petróleo y minerales. En 2022, las materias primas representaban cerca del 60 % de las exportaciones totales de la región (Banco Mundial, 2024). Aunque, históricamente, estas materias primas han impulsado el crecimiento económico, dejan a la región vulnerable a las fluctuaciones de precios en los mercados mundiales.

Fig. 4 | Naciones dependientes de materias primas en ALC por principal grupo de productos de exportación, 2019-2021.



Fuente: UNCTAD

En términos de comercio, la región experimenta una creciente presión para adaptarse a los cambios de la demanda mundial y las nuevas megatendencias. Más concretamente, la especialización comercial actual de ALC hace que la región

sea especialmente vulnerable a los efectos de la disrupción tecnológica (como la automatización de las actividades de ensamblaje), pero también al cambio climático (así como a su descarbonización) a medio y largo plazo.

Se calcula que en 2050, los daños del cambio climático podrían costarle a la región USD 100 mil millones anuales (Vergara et al. 2013). La mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos ha tenido efectos dramáticos en la producción, el turismo y las infraestructuras, mientras que las fluctuaciones a largo plazo de las precipitaciones y la temperatura también amenazan la productividad a largo plazo de varios productos agrícolas de los que dependen los países de la región como fuente de ingresos, exportaciones y seguridad alimentaria. Por citar solo algunos ejemplos obvios, el cambio climático supone un grave riesgo para la cría de salmón en Chile, el café en Colombia y el cacao en Ecuador (Soto et al. 2019; Macias Barberan et al. 2019).

Mientras tanto, la mitigación global del cambio climático y la agenda de descarbonización también tienen importantes implicaciones para las perspectivas comerciales de la región. Por un lado, varios productores de petróleo de América Latina se ven afectados por los desafíos de la transición energética mundial, ya que se prevé que la demanda de combustibles fósiles disminuya a medio y largo plazo. Venezuela, México y Brasil dependen de las exportaciones de petróleo para financiar el gasto público, lo que los hace vulnerables ante una menor demanda mundial de hidrocarburos. Sin una estrategia para diversificar sus economías, estas naciones experimentan presiones fiscales que podrían socavar las inversiones sociales y exacerbar las desigualdades. La transición mundial hacia una economía descarbonizada tendrá efectos considerables en el sector de los combustibles fósiles y, en la región, provocará la pérdida de más de 360.000 puestos de trabajo en la extracción de combustibles fósiles y la generación de electricidad basada en combustibles fósiles (Saget et al. 2020). Además, se calcula que, a medida que el mundo se acerque a las emisiones netas cero, la mayoría de los puestos de trabajo en las centrales eléctricas de petróleo y carbón (entre el 93 % y el 94 %) desaparecerán en 2030, mientras que el 80 % de los puestos de trabajo en las centrales eléctricas de gas y el 70 % de los puestos en la extracción de combustibles fósiles desaparecerán en 2050 (ibid.).

Aunque el uso del petróleo en nuestras sociedades no desaparecerá por completo, dado el uso de productos derivados del petróleo para una amplia gama de productos no energéticos, como productos farmacéuticos, cosméticos y artículos de plástico, se prevé, no obstante, que los países productores de petróleo con elevados costos de extracción se verán expulsados del mercado. El costo de producción de un barril de petróleo en América Latina tiende a ser más elevado que en otras regiones. Por ejemplo, en los últimos años, los costos totales para producir un barril de petróleo han sido relativamente altos en países como Brasil (USD 35) y Venezuela (USD 28),

en comparación con competidores como Irán y Arabia Saudí (USD 9 ambos), Irak (USD 11), Rusia (USD 19) o incluso Noruega (USD 21); mientras que el costo de producción en Colombia fluctuó de USD 16,3 en 2017 a USD 45 en 2020 (Wall Street Journal, 2016; Asociación Colombiana del Petróleo y Gas [ACP], 2017). Por lo tanto, a medida que bajen los precios del petróleo, se prevé que los países latinoamericanos con costos de producción más elevados serán los primeros en salir del mercado.

Otros países latinoamericanos están en condiciones de beneficiarse de la creciente demanda de los minerales que son insumos esenciales de las tecnologías de bajas emisiones de carbono, necesarias para mitigar el cambio climático. Los minerales críticos desempeñarán un papel cada vez más importante en el comercio latinoamericano. Los países latinoamericanos presentan una gran (y dispersa) riqueza de minerales críticos, así como la existencia (y el potencial de desarrollo) de industrias derivadas que utilizan esos minerales como insumos, en especial en Brasil y Costa Rica. Por ejemplo, América Latina domina la producción (y posee reservas muy grandes) de una serie de minerales críticos, como litio, cobre, plata, bauxita, zinc, manganeso, níquel y grafeno en menor medida (Agencia Internacional de la Energía [AIE], 2021). Con las herramientas políticas adecuadas, la región está preparada para beneficiarse de manera considerable del creciente mercado de minerales críticos y tecnologías de bajas emisiones de carbono que se necesitan para cumplir los objetivos climáticos, especialmente si se sigue desarrollando la capacidad industrial para refinar y procesar esos minerales.

Sin embargo, incluso para los países que dependen de los llamados minerales del futuro, cuya demanda se espera que aumente con el despliegue de tecnologías de bajas emisiones de carbono, las perspectivas a largo plazo siguen estando dominadas por los altos niveles de incertidumbre y riesgos de disrupción tecnológica. A principios del siglo XX, el descubrimiento en Alemania de una nueva forma de producir amoníaco tuvo un impacto económico espectacular en Chile, que dependía en gran medida de la extracción de yacimientos naturales de nitrato de sodio. Un escenario así no es impensable hoy en día para países latinoamericanos como Chile o Bolivia que actualmente apuestan por los llamados minerales del futuro (como el litio), dadas las grandes cantidades de recursos invertidos en I+D para desarrollar tecnologías alternativas de baterías eléctricas (como las baterías de estado sólido, o las baterías basadas en hidrógeno) que dependen de materias primas y minerales sustitutos (Lebdioui, 2022). Por lo tanto, las decisiones de invertir en capacidad de valor añadido posterior o en la producción de baterías eléctricas en los países productores de litio deben tener en cuenta los riesgos potenciales de las disrupciones tecnológicas, que pueden ser considerables debido a la escasez de vínculos de valor agregado a partir de materias primas como el litio (que se usa sobre todo para baterías eléctricas), en contraste con minerales como el cobre o la plata, que gozan de una amplia gama de posibles aplicaciones.

La importancia de la diversificación productiva

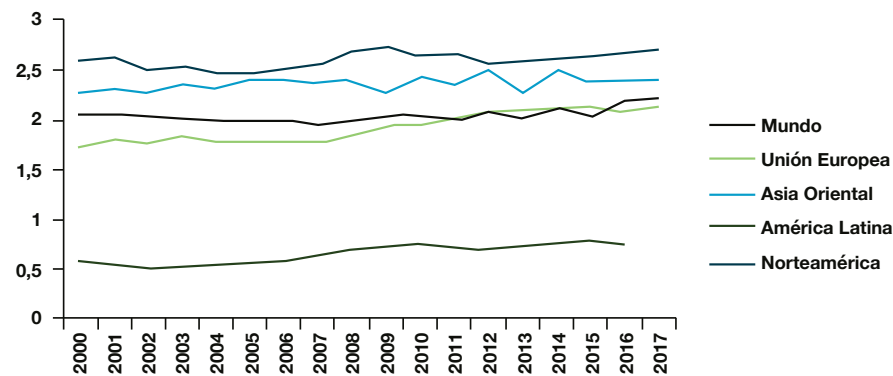
Dados estos desafíos, no debe subestimarse la urgencia de la agenda para el desarrollo productivo en ALC. La diversificación de las actividades económicas puede reducir la vulnerabilidad de la región a los choques externos, mejorar su competitividad y generar empleos de mayor calidad. Sin embargo, lograr esto requiere de intervenciones políticas deliberadas para abordar las limitaciones estructurales y catalizar la innovación, e ir más allá de las fuerzas del mercado, ya que la evidencia de experiencias exitosas de diversificación económica muestra que seguir las fuerzas del mercado no es suficiente para adquirir nuevas ventajas comparativas (Chang, 1994, Lebdioui, 2019; Cherif y Hasanov, 2021, Mazzucato, 2013).

A medida que ALC afronta la conjunción de los desafíos de la volatilidad económica, los riesgos climáticos y las desigualdades sociales, la diversificación productiva ofrece una vía hacia el crecimiento sostenible e integrador. Sin embargo, esto requiere esfuerzos coordinados por parte de los gobiernos, los actores del sector privado y los socios internacionales. Los responsables de políticas no deben adoptar una visión a largo plazo, priorizando las inversiones en innovación, sino más bien una visión de desarrollo productivo que sitúe la protección de la biodiversidad en el centro de los sistemas económicos, como se explica con más detalle en la sección 3.

Innovación, gasto en I+D y las limitaciones vinculantes de la trampa del ingreso medio

América Latina y el Caribe presentan porcentajes de I+D extremadamente bajos. El gasto promedio en I+D de la región (en porcentaje del PIB) es de los más bajos del mundo (<0,6 %), situándose muy por debajo del promedio mundial (>2 %). Es innegable que en América Latina deben realizarse más y mejores esfuerzos públicos orientados a la I+D, y deben coordinarse con el sector privado de la economía (Pérez, 2008). Además, en casi todos los países latinoamericanos, más de la mitad del poco gasto en I+D se financia con fondos públicos, mientras que en Europa y Norteamérica (excepto México) suele ser inferior al 35 %. En Argentina, Ecuador, Cuba y Costa Rica, el porcentaje de financiamiento público en I+D supera incluso el 70 %. De cara al futuro, encontrar formas de fomentar un mayor financiamiento privado complementario para la I+D será esencial para aprovechar al máximo las oportunidades económicas y comerciales que surgen de las transiciones energéticas (consulte la sección 5).

Fig. 5 | Gasto en investigación y desarrollo por regiones del mundo (% del PIB) en los últimos años disponibles.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Indicadores del Desarrollo Mundial

Las bajas tasas de gasto en I+D de ALC son bastante problemáticas y contribuyen a explicar la diferencia entre crecimiento simple y desarrollo productivo, así como la persistencia de una trampa del ingreso medio en varias economías de ALC. Una amplia literatura ha puesto de manifiesto el papel clave de la innovación en la recuperación económica (Schumpeter, 1939; Aghion y Howitt, 1990; Pérez, 2008). Más recientemente, varios estudios (como Banco Mundial, 2010; Eichengreen et al., 2012, 2013; y Lee, 2013; Lebdioui, Lee y Pietrobelli, 2021) también han puesto de manifiesto que las capacidades de innovación son la principal limitación vinculante para escapar de la trampa del ingreso medio.

El papel de la innovación para la transformación estructural sigue siendo relevante en el contexto de la sostenibilidad, que se considera cada vez más la próxima frontera de la innovación (Nidumolu et al., 2009; Lema et al. 2020). Como argumentó Carlota Perez (2010), cada revolución tecnológica trae consigo una oportunidad para nuevas formas de desarrollo e inclusión. El paradigma tecnoeconómico ecológico representa ese punto de inflexión, en el que los países que alinean sus estrategias de innovación con los objetivos de sostenibilidad pueden saltar a la nueva frontera. Para América Latina, la biodiversidad y los recursos renovables pueden constituir la base material de este nuevo paradigma. En este sentido, una cuestión clave en la región de ALC es cómo aprovechar la biodiversidad existente para apoyar los esfuerzos de innovación y el salto a la frontera tecnológica, no solo como una forma de desarrollar capacidades de innovación, sino también para alcanzar niveles de vida más elevados. Jorge Katz (2000) ha puesto de manifiesto que, para ponerse al día, es necesario crear capacidades tecnológicas nacionales y no limitarse a adoptar tecnologías importadas, lo que constituye una lección directamente pertinente para las estrategias de innovación basadas en la biodiversidad que se apoyan en los conocimientos locales y en las instituciones de I+D.

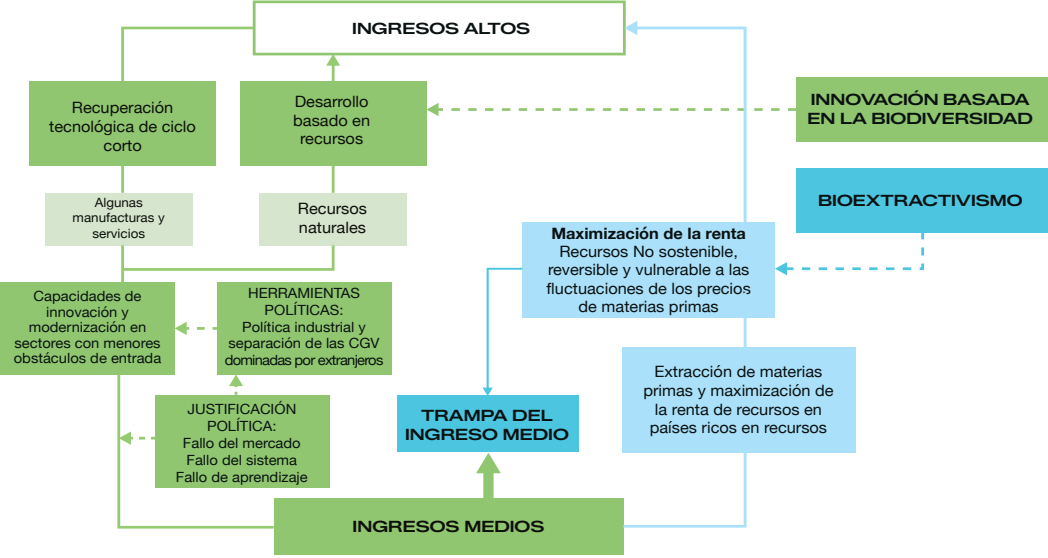
Fig. 6 | Mapas de los centros de I+D seleccionados en América Latina y el Caribe.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 1 se ilustra este argumento. En muchos países de ALC, la existencia de una trampa del ingreso medio se debe en gran medida a la insuficiente capacidad de innovación y a la incapacidad de superar la dependencia de los recursos o la fabricación de bajo valor. Salir de la trampa requiere intervenciones específicas de política industrial que aborden los fallos del mercado, la coordinación y el aprendizaje. Históricamente, las transiciones exitosas hacia un estatus de ingresos altos se producían cuando los países usaban la política industrial para promover la mejora de las empresas nacionales en sectores con barreras de entrada manejables, como la fabricación basada en la tecnología o las industrias vinculadas a los recursos. Sin embargo, en ALC, la política industrial a menudo ha reforzado la dependencia de la maximización de la renta de los recursos, lo que ha conducido a trayectorias de crecimiento no sostenibles y volátiles ligadas a los ciclos de las materias primas.

Fig. 7 | La trampa del ingreso medio: tres tipos de estrategias y el papel de la biodiversidad.



Fuente: Adaptación del marco de Lebdioui, Lee y Pietrobelli, 2019

El diagrama sugiere dos trayectorias distintas que derivan del desarrollo basado en los recursos. La vía roja, denominada bioextractivismo, representa el modelo tradicional centrado en la extracción de materias primas y la captación de rentas, que es no sostenible, reversible y vulnerable a las fluctuaciones de los precios mundiales. La vía verde, por el contrario, representa una nueva estrategia de desarrollo: la innovación basada en la biodiversidad. Este enfoque trata la riqueza natural no como una reserva que hay que agotar, sino como una fuente de ideas, bioinspiración y potencial biotecnológico. Si se invierte en investigación, ecosistemas de innovación y cooperación científica, los países pueden transformar la biodiversidad en un motor de aprendizaje, productividad y diversificación, en lugar de una trampa de dependencia.

La idea de aprovechar la biodiversidad como una nueva forma de ponerse al día a nivel tecnológico coincide con las primeras ideas de Carlota Perez y otros académicos latinoamericanos de que las naciones de América Latina deberían usar sus recursos naturales para dar un salto adelante con la próxima revolución tecnológica (Perez, 2010; Marin et al. 2015). Del mismo modo que las revoluciones industriales anteriores fueron impulsadas por el carbón, el petróleo o las redes digitales, la próxima ola (centrada en la bioinnovación y la ecoinnovación) recompensará a quienes puedan alinear el capital natural con la producción de conocimiento. En este sentido, la biodiversidad se convierte en la ventaja comparativa de la región en el emergente “paradigma tecnoeconómico ecológico” (Perez & Marin, 2015).

Además, trabajos más recientes sostienen que los países de ALC pueden aprovechar sus capacidades biotecnológicas para construir bioeconomías más inclusivas y orientadas a la sostenibilidad (Robert y Marin, 2022). En lugar de centrarse únicamente en los bioinsumos agrícolas, abogan por plataformas de bioinnovación que conecten la investigación sobre biodiversidad con la política industrial y la diversificación de las exportaciones. Esta perspectiva refuerza el argumento de que la innovación basada en la biodiversidad puede servir de puente entre la mejora industrial y los objetivos medioambientales, en lugar de tratar estos ámbitos por separado.

De esta forma, el desafío estratégico consiste en diseñar políticas e instituciones que canalicen el uso de la biodiversidad lejos de la búsqueda de rentas extractivas y hacia el aprendizaje, la adición de valor y la creación de capacidades.

3.



**Variedades de
modelos económicos
basados en la
biodiversidad y su
impacto diferenciado
en el desarrollo
productivo**

3. Variedades de modelos económicos basados en la biodiversidad y su impacto diferenciado en el desarrollo productivo

Dada la enorme biodiversidad endémica y los ecosistemas naturales únicos de ALC, los servicios de comercio e innovación basados en la biodiversidad pueden ser una fuerza transformadora para impulsar el desarrollo económico y el comercio en la región. Con frecuencia, los enfoques tradicionales para la conservación han proporcionado herramientas limitadas para comprender cómo podría aprovecharse la biodiversidad como palanca para el desarrollo sostenible y, de hecho, pueden perpetuar las desigualdades estructurales, perjudicando a los pueblos indígenas y las comunidades locales (Gill et al. 2023). Mientras tanto, la biodiversidad genera beneficios directos para la humanidad en forma de nuevo material genético para medicamentos, agricultura y un mayor ecoturismo (Pearce y Pearce, 2001; Swanson, 1996), pero también tiene valor como fuente de información que puede apoyar la investigación, la innovación y los procesos industriales (consulte Benyus, 1997; Simpson et al., 1996; Swanson, 1996).

De hecho, la biodiversidad de la región influye de varias maneras en las oportunidades comerciales, no solo en términos de instrumentos basados en

el mercado, como los pagos por servicios ecosistémicos y los permisos de biodiversidad, sino también en términos de ecoturismo y bioutilización, que forman parte de una bioeconomía más amplia, cada vez más popular en la formulación de estrategias políticas en América Latina y el Caribe.

En esta sección, se exploran estos diferentes modelos, se evalúa su viabilidad y se destacan ejemplos de América Latina y el Caribe, como se resume en la tabla 1.

El auge del concepto de bioeconomía, sus promesas y sus carencias

El concepto de bioeconomía ha cobrado importancia como paradigma político, especialmente en América Latina y el Caribe, en medio de las crisis mundiales de sostenibilidad, estancamiento de la productividad y pérdida de biodiversidad. En su esencia, la bioeconomía promete una transición desde vías de desarrollo no sostenibles basadas en los fósiles hacia modelos económicos fundados en el uso intensivo e innovador de los recursos biológicos, con el apoyo de los avances científicos y tecnológicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2019). Sin embargo, como revela crudamente la experiencia en América Latina y el Caribe, el concepto de bioeconomía encarna tanto oportunidades significativas como profundas contradicciones, ya que su promesa transformadora a menudo se ve frustrada por la inercia extractivista, la “biologicalización” de viejos paradigmas y la inclusión marginal de ecosistemas de innovación bioinspirada (Allain et al., 2022; Trigo et al. 2013, Lebdioui, 2022).

En esta sección, se examinan críticamente el auge y los límites del concepto de bioeconomía a nivel mundial y en ALC, centrándose directamente en la incomparable biodiversidad de la región y el imperativo de aprovecharla para la transformación estructural. Aboga por un cambio desde la extracción tradicional de recursos hacia un modelo de desarrollo basado en la innovación, la construcción de ecosistemas y la valorización de los conocimientos locales, lo que en muchos sentidos va más allá de la comprensión tradicional del concepto de bioeconomía.

Tabla | Lista de estrategias nacionales en materia de bioeconomía en América Latina y el Caribe.

País	Documento político (año)	Prioridades sectoriales
Argentina	“Estrategia Argentina de Bioeconomía” (2016)	Agricultura, silvicultura, alimentación, bioenergía, biotecnología
Brasil	Estrategia Nacional de Bioeconomía (2024)	Biocarburantes, silvicultura, biodiversidad, Amazonia, bioproductos
Colombia	“Estrategia Nacional de Bioeconomía” (2020)	Biodiversidad, bioprospección, salud, agrotecnología, bioenergía
Costa Rica	“Estrategia Nacional de Bioeconomía” (2020)	Agricultura, silvicultura, bioempresas, ecoinnovación, turismo
Ecuador	“Política Nacional de Bioeconomía” (2021)	Agricultura, alimentación, biorrefinería, bioproductos, energía, residuos
México	“Estrategia de Bioeconomía” (2022)	Bioenergía, agroindustria, alimentación, química ecológica, biodiversidad
Uruguay	“Plan Sectorial de Biotecnología” (2011/Rev. 2020)	Agricultura, silvicultura, bioenergía, biotecnología, acuicultura
Chile	No hay un programa explícito de bioeconomía, pero sí varias políticas relevantes	Silvicultura, pesca, alimentación, química, ecoindustria
Bolivia	No existe un programa único y centralizado de bioeconomía, sino varias políticas pertinentes	Agroindustria, biodiversidad, bioproductos locales, silvicultura

En teoría, la bioeconomía ofrece considerables promesas de desarrollo, especialmente relevantes para las condiciones de ALC. Ofrece una vía para diversificar las economías que durante mucho tiempo han dependido de la exportación de materias primas, al permitir el desarrollo de industrias de valor añadido como las biofarmacéuticas, las bioquímicas, los materiales avanzados y la bioenergía (FAO, 2019; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2025). Al incorporar el bioprocesamiento y la biofabricación a nivel rural y territorial, la bioeconomía puede promover empleos económicos de manera difusa que favorezca a las zonas rurales y marginadas, apoye los medios de vida indígenas y rurales, y garantice la resiliencia ambiental (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], FAO e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2019). También promete una vía para la innovación, ya que la riqueza biológica de ALC, combinada con los conocimientos tradicionales y científicos, puede servir de trampolín para implementar soluciones tecnológicas que generen bienes y servicios de alta tecnología y valor (p. ej., en Brasil, los biocombustibles han sido una increíble fuente de modernización tecnológica, desbordamiento de conocimientos y adición de valor). Sin embargo, en realidad, a pesar de su retórica de transformación, la integración de políticas de bioeconomía en ALC y en todo el mundo con frecuencia ha reproducido o incluso profundizado las deficiencias de desarrollo existentes. Entre las principales limitaciones identificadas en la bibliografía figuran las siguientes:

- renovación del extractivismo mediante la biologización;
- impacto limitado en la transformación productiva;
- cadenas de valor desiguales y desigualdad persistente;
- agravamiento de los riesgos medioambientales.

Los críticos sostienen que gran parte de la bioeconomía aplicada en ALC se limita a rebautizar la extracción de recursos, extendiendo la tradicional “trampa de las materias primas” de la región al ámbito de la biotecnología (Allain et al., 2022). En lugar de reestructurar las economías para fomentar la incorporación de valor local y la innovación endógena, la retórica de la bioeconomía a menudo racionaliza la producción continua de monocultivos a gran escala (p. ej. el, *açaí* en Brasil y la silvicultura industrial en Chile, aunque ambos sectores han generado desbordamientos de conocimiento) usando tecnologías y propiedad intelectual que continúan siendo dominadas por actores externos ajenos a las comunidades de las regiones biodiversas (Birch et al., 2010; Levidow, 2015). En otras palabras, se corre el riesgo de que la bioeconomía equivalga a una mera “biologización” del sistema productivo: sustitución de las materias primas fósiles por otras biológicas, pero sin cambiar las estructuras económicas que rigen el uso y la distribución de los recursos (Bèfort et al. 2020; Allain et al., 2022). Esta crítica es especialmente relevante en ALC, donde persisten las asimetrías de poder en la tierra, las finanzas y la tecnología (Bertola y Ocampo, 2012). Las implicaciones de un modelo de bioeconomía extractivista son importantes: en lugar de apoyar una producción local diversificada y de alto valor, la región sigue encerrada en su papel histórico de exportadora de materias primas, perdiendo oportunidades de mejora tecnológica y diversificación económica.

También hay que tener en cuenta los considerables efectos distributivos. A pesar de su retórica transformadora, muchas estrategias de bioeconomía en ALC no alteran fundamentalmente los patrones existentes de poder sobre la tierra, el mercado y la tecnología. A menudo, dan prioridad a la biomasa a gran escala que favorece a las empresas multinacionales, dejando a los pequeños agricultores y los pueblos indígenas atrapados en roles periféricos como proveedores de materias primas de escaso valor (Birch et al., 2010; IICA, 2024). Las cuestiones de gobernanza suelen agravar los problemas de distribución. Por ejemplo, las hojas de ruta de las políticas tienden a centrarse en ampliar el bioprocesamiento y los cultivos de alto rendimiento, sin prestar suficiente atención a las cuestiones de reforma agraria, acceso equitativo al financiamiento de la innovación y gobernanza participativa de los recursos genéticos (CEPAL, FAO e IICA, 2019). Este descuido es especialmente problemático en ALC, donde las estructuras agrarias son muy desiguales y los ecosistemas de innovación suelen estar fragmentados, y el “modelo de transición agrícola

dominante” amenaza con desplazar las prácticas agroecológicas alternativas y los enfoques verdaderamente disruptivos arraigados en los conocimientos locales y la agrobiodiversidad (Magrini et al. 2019; Vanloqueren y Baret, 2009).

También preocupa que, sin protecciones sólidas, la expansión de la bioeconomía pueda intensificar la presión sobre la tierra y la biodiversidad, ya que el monocultivo a gran escala y la producción bioenergética compiten con los cultivos alimentarios e impulsan la pérdida de hábitats (FAO, 2019). Según se analiza más adelante en esta sección, la producción de bioplásticos y otros materiales de base biológica no es inherentemente sostenible si no se cuenta con protecciones ambientales adecuadas, y puede derivar en el uso significativo de recursos y la generación de emisiones y residuos si no se rige por principios holísticos de economía circular (Schröder et al., 2020; CEPAL, FAO e IICA, 2019).

En resumen, debemos ir más allá de la “bioeconomía” como paradigma político global. Sin duda, el concepto de bioeconomía señala una evolución crucial en el pensamiento en torno al desarrollo, en particular para regiones como América Latina y el Caribe, donde la biodiversidad no es solo una dotación ecológica, sino un activo estratégico para la transformación productiva. Sin embargo, como se ha demostrado en esta revisión, las principales expresiones de la bioeconomía se han quedado cortas con demasiada frecuencia, atrapadas por la inercia extractivista, la inercia institucional y el fracaso a la hora de construir ecosistemas inclusivos impulsados por la innovación. Cuando los conceptos o el paradigma político son demasiado amplios, a menudo dejan de ser útiles.

Ir más allá de la “biologización” de los paradigmas extractivistas requiere no solo aplicar nuevas tecnologías, sino implementar una profunda innovación institucional y política, integrar los conocimientos indígenas y aplicar un enfoque basado en la construcción de ecosistemas (consulte la sección 7 de este reporte). Solo mediante estos cambios podrá ALC convertir realmente la riqueza biológica en auténticas oportunidades de innovación y desarrollo. Para ello, también debemos distinguir entre las diferentes variedades de estrategias en materia de bioeconomía, entendiendo sus fortalezas y limitaciones, y los factores que afectan su viabilidad en diferentes contextos a lo largo de América Latina y el Caribe. El resto de esta sección repasa cuatro tipos diferentes de estrategias de bioeconomía y evalúa sus fortalezas y sus limitaciones. Estos son los pagos por servicios ecosistémicos (PSE), créditos de biodiversidad, ecoturismo y bioutilización e innovación bioinspirada.

Tabla 2 | Servicios comercializables basados en la biodiversidad: resumen de fortalezas y limitaciones.

Tipo de servicio	Consta de:	Ejemplos de ALC	Beneficios	Limitaciones	Condiciones para el éxito
Pagos por servicios ecosistémicos	Incentivos económicos a los propietarios de tierras o comunidades por mantener o restaurar los ecosistemas.	Programas de captación de carbono en Costa Rica, como los que pagan a los agricultores para que conserven los bosques y adopten prácticas sostenibles; restauración de manglares en Colombia.	Reduce la deforestación, fomenta la conservación, mejora la captura de carbono y proporciona ingresos a las comunidades.	Requiere seguimiento, continuidad del financiamiento y una propiedad clara de la tierra. En ausencia de financiamiento externo o privado, los PSE se convierten en una transferencia de efectivo condicionada que puede limitar las finanzas públicas.	Marcos de gobernanza sólidos, sistemas de pago y calendario transparentes, mecanismos de control del cumplimiento.
Créditos de biodiversidad	Instrumento utilizado para financiar actividades que generan beneficios netos positivos para la biodiversidad.	Crédito de biodiversidad para conservar 340 hectáreas del Bosque de Niebla en 2020; cada crédito servirá para pagar a los propietarios locales por conservar o restaurar una superficie de 10 m2 durante 30 años.	Permitir que las empresas apoyen acciones positivas para la naturaleza en lugar de limitarse a compensar los efectos perjudiciales sobre los ecosistemas de un lugar concreto.	Demanda limitada. Falta de una “moneda común” que pueda medirse de forma coherente en todas las zonas de biodiversidad.	Métricas más normalizadas para la biodiversidad.
Ecoturismo	Turismo sostenible centrado en las zonas naturales.	El sector ecoturístico de Costa Rica contribuye en gran medida al PIB y a la creación de empleo, atrayendo visitantes a bosques nubosos, volcanes y zonas marinas protegidas.	Genera ingresos de forma difusa, apoya la conservación y ofrece empleo a millones de personas, con efectos distributivos positivos.	Riesgo de exceso de turismo, dependencia de los mercados exteriores y posible degradación de los ecosistemas.	Reglamentación adecuada, mecanismos sólidos de reparto de beneficios locales y evaluaciones de impacto ambiental.
Bioutilización (bioeconomía/bio-comercio)	Explotación de recursos naturales con fines comerciales.	Cosecha de plantas amazónicas para productos farmacéuticos y cosméticos; pesca sostenible en Chile.	Genera ingresos, apoya los conocimientos tradicionales y fomenta las prácticas sostenibles.	Riesgos de sobreexplotación, falta de reparto equitativo de los beneficios e impactos sobre la biodiversidad.	Aplicación de cuotas sostenibles, integración de los conocimientos tradicionales y acuerdos de reparto de beneficios.
Bioinspiración (bioeconomía)	Usar los diseños de la naturaleza como modelos de innovación.	Productos basados en la biomimesis, como los compuestos de madera de Strong by Form que imitan las estructuras de los árboles en Chile; soluciones de energías renovables inspiradas en diseños naturales.	Fomenta la innovación, promueve las tecnologías sostenibles y aprovecha los conocimientos locales sobre biodiversidad.	Requiere una inversión significativa en I+D y hay riesgo de concienciación limitada y dificultades para ampliar las innovaciones.	Asociaciones entre instituciones de investigación e industrias, acceso al financiamiento y políticas que fomenten la innovación sostenible.

Pagos por servicios ecosistémicos (PSE) y créditos de biodiversidad

En la actualidad, las comunidades de toda ALC prestan una serie de servicios ecosistémicos (como el almacenamiento de carbono, la protección de las cuencas hidrográficas o la conservación de la fauna y la flora) de los que todo el mundo se beneficia y debería compensar. Afortunadamente, existen mecanismos para comercializar y compensar la protección de estos valiosos activos. Entre estos mecanismos se encuentra el Programa de pagos por servicios ecosistémicos (PSE), un mecanismo financiero por el que los propietarios reciben pagos directos por los servicios ecológicos que producen sus tierras, siempre que adopten usos del suelo y técnicas de gestión forestal respetuosos con el medioambiente (Malavasi y Kellenberg 2002).

Los países de ALC se han situado como líderes a la hora de adoptar el PSE a nivel mundial, implementando más de 250 programas de este tipo desde la década de 1990, dando continuidad a programas pioneros en Costa Rica y México (Alpízar, Madrigal et al., 2020). No obstante, estos programas se deben diseñar cuidadosamente para garantizar un efecto positivo sobre el medioambiente (CAF, 2023; Alpízar, Madrigal et al., 2020).

Algunos estudios han constatado que los programas de PSE pueden tener efectos menores o nulos a la hora de disminuir la deforestación (Robalino y Pfaff, 2013; Ruggiero et al., 2019; Sánchez-Azofeifa et al., 2007). Un efecto notable es la fuga, que se refiere al desplazamiento de la deforestación de zonas participantes a zonas no participantes, como se evidencia en Bolivia, México y Perú (Sohngen y Brown [2004]; Izquierdo-Tort et al. [2019] y Alix-García et al. [2012]; Giudice et al. [2019]). Por este motivo, para ser eficaces, los programas de PSE deben cumplir el principio de adicionalidad, es decir, deben dar lugar a un flujo de servicios ecosistémicos o acciones de conservación mayor que el que se produciría si no se implementara el esquema (CAF, 2023). Sin embargo, incluso en el contexto de la adicionalidad (en riesgos elevados de deforestación), existe un compromiso inherente entre los objetivos de reducción de la pobreza y conservación de los PSE, cuando estos simplemente compensan los ingresos que se dejan de percibir derivados de la prevención de la deforestación en lugar de mejorar el bienestar de las comunidades objetivo (Jayachandran, 2023). También existe otra cuestión en relación con los efectos distributivos de los programas de PSE, ya que se denunciaron problemas de acaparamiento de tierras e inflación alimentaria tras su aplicación, sobre todo si producen una disminución en la producción de cultivos de consumo local.

Además, los mecanismos de PSE a menudo se han limitado a las fronteras nacionales, y las comunidades locales suelen tener dificultades para recibir una remuneración de la comunidad internacional por este servicio “comercializable”. El caso de la Iniciativa Yasuní-ITT de Ecuador es un buen ejemplo, ya que abordó directamente la cuestión de los servicios ecosistémicos internacionales al dejar el petróleo bajo tierra en el Parque Nacional Yasuní, uno de los centros de mayor biodiversidad del mundo. La propuesta inicial del Gobierno de Ecuador implicaba mantener bajo tierra casi mil millones de barriles de petróleo si la comunidad internacional contribuía con al menos la mitad del costo de oportunidad de explotar el petróleo (Larrea y Warnars, 2009). El apoyo inicial de instituciones internacionales, gobiernos europeos y organizaciones no gubernamentales (ONG) de todo el mundo no se tradujo en acciones concretas, y la crisis financiera de 2008-2009 también presionó a las fuentes internacionales de financiamiento de Ecuador, lo que llevó al presidente Correa a seguir adelante con su plan de reserva de perforar en busca de petróleo si no se recibían contribuciones (ibid.). Sin embargo, a pesar de su fracaso, se pueden extraer varias lecciones para el futuro éxito de programas similares, especialmente en lo que respecta a la necesidad de coordinación internacional y marcos jurídicos más claros para compensar la protección de la biodiversidad de la que se beneficia todo el mundo. Aunque muchos servicios ecosistémicos no se negocian ni valoran fácilmente en el mercado, siguen siendo valiosos a nivel económico, y cada vez hay más investigaciones y debates políticos para determinar el valor (tanto de mercado como no de mercado) derivado de la gestión y protección de los ecosistemas.

La cuestión de la compensación internacional llama la atención sobre la posible relevancia de los créditos de biodiversidad, que han cobrado gran protagonismo en los últimos años. Los créditos de biodiversidad son un instrumento económico que se usa para financiar actividades que generan beneficios netos para la biodiversidad (Gray y Khatri, 2022). A diferencia de las compensaciones de carbono o biodiversidad, que son pagos realizados por empresas para compensar sus efectos perjudiciales sobre ecosistemas específicos, los créditos de biodiversidad permiten a las empresas apoyar acciones positivas para la naturaleza, financiando su conservación y restauración a largo plazo (ibid.).

Los créditos de biodiversidad ofrecen ventajas y limitaciones. Por un lado, se perciben como una forma prometedora de ampliar el financiamiento privado de la naturaleza (Gray y Khatri, 2022). Por otro lado, una crítica común es que esos mecanismos pueden ser arriesgados y tener altos costos de oportunidad, posiblemente distrayendo a los actores de otras formas más eficaces de movilizar financiamiento para la biodiversidad, en especial dada la limitada demanda de estos créditos hasta la fecha (Campaign for Nature, 2024; Rao et al. 2024). Además, si bien una tonelada de carbono es igual en todas partes, la biodiversidad es, por su naturaleza, diversa, y podría decirse que carece de una “moneda común” que permita medirla, rastrearla y comercializarla de forma coherente y con precios adecuados

(Rao et al. 2024). Es por esto que sigue sin estar claro si los créditos de biodiversidad pueden desempeñar una función suficientemente eficaz para alinear el desarrollo local con los objetivos de sostenibilidad.

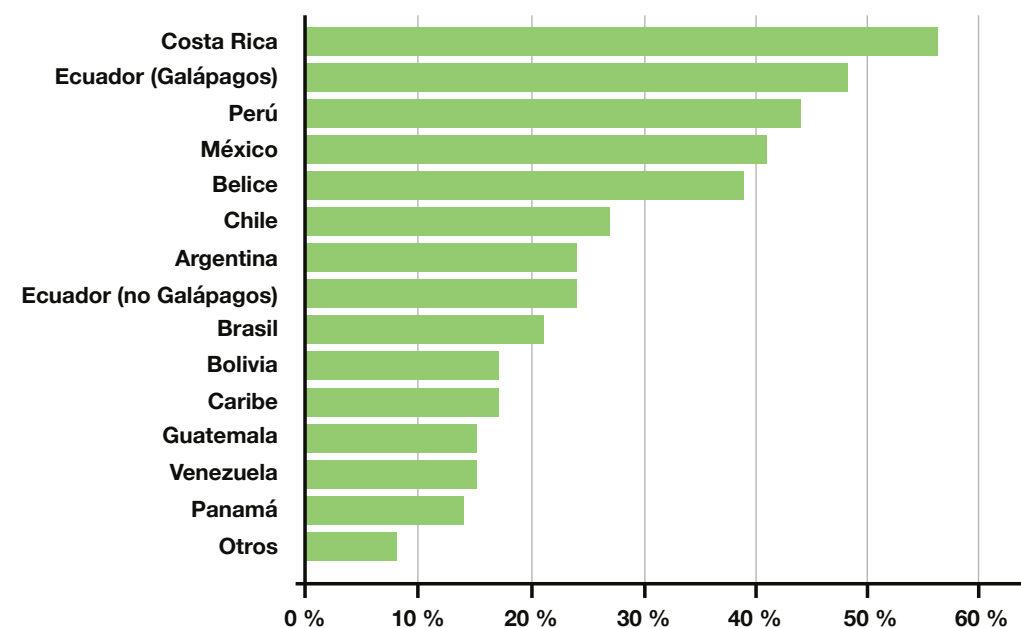
Ecoturismo

El ecoturismo ofrece otra vía con potencial para proporcionar beneficios económicos locales mientras se mantiene la integridad de los recursos ecológicos (Stem et al. 2023). Se ha vuelto cada vez más popular en toda América Latina como forma de promover un crecimiento respetuoso con el medioambiente. El ecoturismo, cuyo objetivo es reducir la huella medioambiental de las actividades turísticas, se define como la promoción de viajes responsables a zonas naturales y la conservación del medioambiente, al tiempo que se mejora el bienestar de la población local (The International Ecotourism Society [TIES], 2015). El comercio de servicios ecoturísticos se considera una forma prometedora de apoyar el doble reto de la sostenibilidad y la diversificación económica (Hubler, 2019). Los países de ALC figuran entre los principales destinos ecoturísticos del mundo (consulte la figura 5). El ecoturismo genera alrededor de 3,5 millones de empleos en América Latina y el Caribe, mientras que el turismo, en general, generó alrededor de 19 millones de empleos en 2018, es decir, el 8 % del empleo total (Saget et al. 2020). El turismo basado en la naturaleza puede acelerar la mitigación de la pobreza, en especial en zonas remotas donde escasean las fuentes alternativas de creación de empleo, al tiempo que proporciona divisas en varios sectores económicos (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2017).

No obstante, la dependencia excesiva del ecoturismo a menudo ha planteado importantes riesgos medioambientales y para el desarrollo, al tiempo que presenta un modelo muy vulnerable a conmociones externas como pandemias, cambio climático y catástrofes naturales (Purkey, 2022). Las actividades turísticas basadas en la naturaleza, que representan una fuente clave de ingresos y empleo en América Latina (hasta el 40 % de los ingresos de exportación en países como la República Dominicana), se ven muy afectadas por el cambio climático (Gouvea, 2004). Por ejemplo, la temporada de huracanes de 2017 causó una pérdida estimada de más de 800.000 visitantes al Caribe, que habrían generado USD 740 millones para la región y apoyado unos 11.000 puestos de trabajo (Saget et al. 2020). Los riesgos asociados a la dependencia del ecoturismo también se reflejan de manera clara en la experiencia de las emblemáticas islas Galápagos, que se han vuelto excesivamente dependientes del turismo como fuente de financiamiento para la protección de la biodiversidad, y donde los ingresos públicos disminuyeron. Durante la crisis de COVID, la cantidad de turistas que visitaron las islas se redujo en un 75 % entre 2019

y 2020 (comunicación personal con el gobernador de Galápagos, abril de 2021). Si bien la naturaleza experimentó cierto alivio, la caída de los ingresos ha puesto en peligro los medios de vida locales, así como el presupuesto público para mantener los ecosistemas naturales locales.

Fig. 8 | Porcentaje de operadores de ecoturismo con sede en los EE. UU. que ofrecen productos por país.



Fuente: Purkey, 2021

El ecoturismo no puede considerarse un uso benigno o no extractivo de los recursos naturales en las naciones biodiversas porque la escala influye en los impactos negativos del turismo, y cuando el ecoturismo domina las economías locales, las ciudades pueden volverse económicamente vulnerables (Jacobson y López, 1994). Además, el ecoturismo no genera beneficios para la conservación de forma automática, y su efectividad depende de varios factores, como la distribución equitativa de los beneficios y la seguridad de la tenencia de la tierra (Stronza et al. 2019). En Costa Rica, donde el ecoturismo ha ganado atractivo como estrategia para alinear la conservación y el desarrollo, las evaluaciones de su impacto en el país han sido dispares. El desarrollo del ecoturismo en Costa Rica fue el resultado de la Ley de Biodiversidad (n.º 7788, 1998) y de programas complementarios de formación empresarial (incluido el desarrollo de negocios con un enfoque en la responsabilidad medioambiental y social) adaptados a las necesidades de cada comunidad. Por un lado, algunas evaluaciones existentes revelan que la industria turística en Costa Rica tiende a contratar a más población local que otros sectores dentro de la región, a la vez que proporciona empleos con salarios más altos, incluso para jóvenes y

mujeres con hijos (gracias a un horario de trabajo más flexible) (Hunt et al., 2015). Por otro lado, también se han planteado algunas repercusiones negativas de la industria del ecoturismo en Costa Rica, entre las que se incluyen la generación de residuos sólidos, la contaminación atmosférica, la destrucción del hábitat y los males socioculturales (consulte Jacobson y Lopez, 1994; Stem et al., 2003; Koens et al., 2009, por ejemplo).

Bioutilización y principios del biocomercio

La bioeconomía es un concepto relativamente nuevo que tiene muchas definiciones, por lo que es difícil definirlo. En términos generales, se puede definir como “la producción, el uso y la conservación de recursos biológicos, incluidos los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados, para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, con el objetivo de lograr una economía sostenible” (Cumbre del Consejo Asesor Internacional en Bioeconomía Global, 2018). Un pilar clave para el desarrollo de una bioeconomía en América Latina radica en promover procesos de innovación que contribuyan a la diversificación de las economías y generen nuevas cadenas de valor (Rodríguez et al. 2019).

Dentro de la bioeconomía, la bioutilización se ha extendido especialmente en América Latina como un modelo económico. Esta se refiere a la extracción y el uso de materiales biológicos u organismos vivos como parte de un diseño o tecnología, también denominados “bioingredientes”. Los bioingredientes se pueden obtener de fuentes marinas y terrestres para ser incorporados en la fabricación o preparación de productos en una forma modificada que presente actividad biológica (como alimentos, productos farmacéuticos o cosméticos, por ejemplo) (Premkumar et al. 2018). De hecho, la dependencia de la biodiversidad como insumo en el proceso de I+D en varias industrias (p. ej., las industrias farmacéutica y agrícola) es tan sustancial que, si la biodiversidad desapareciera, esto podría ser desastroso para estas importantes industrias (Swanson, 1996). Entre el 25 % y el 50 % de los productos farmacéuticos derivan de recursos genéticos, y alrededor del 70 % de los medicamentos utilizados para tratar el cáncer son naturales o productos sintéticos inspirados en la naturaleza (Evaluación Mundial de la IPBES sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas, 2019).

En América Latina y el Caribe, las iniciativas en materia de bioeconomía de alto valor incluyen la extracción de bioingredientes para la industria farmacéutica y cosmética, como la papaína de la papaya (que se usa para el cuidado de la piel), el colágeno del

pescado (que se usa en cosmética) o las antocianinas de las bayas de açai (que se usan en suplementos para la salud) (consulte la figura 9). Por ejemplo, la empresa brasileña de cosméticos Natura obtiene 45 ingredientes naturales, como nueces de Brasil y andiroba, en colaboración con 44 comunidades amazónicas (Clancy, 2024).

Fig. 9 | Ejemplos seleccionados de bioingredientes, sus orígenes y usos industriales en América Latina y el Caribe.



Fuente: Purkey, 2021

Aunque estas industrias pueden proporcionar altos ingresos, empleos de calidad y potencial de innovación, también pueden presentar importantes contrapartidas medioambientales, como la deforestación y la pérdida de especies, en especial si las actividades de bioutilización se amplían para aumentar los volúmenes de producción. Además, especialmente cuando se trata de recursos marinos, existe una fuerte concentración de la propiedad intelectual que conduce a monopolios intelectuales. De hecho, una empresa posee el 47 % de las patentes de secuencias genéticas marinas, superando la cuota combinada de otras 220 empresas (Blasiak et al. 2018).

Por ello, es esencial que las bioindustrias sigan los principios del biocomercio, según lo desarrollado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, por sus siglas en inglés) (2020). Los principios y criterios del biocomercio de productos y servicios terrestres, marinos y otros basados en la biodiversidad acuática que se vienen desarrollando y aplicando desde 2007 incluyen siete principios:

- conservación de la biodiversidad;
- uso sostenible de la biodiversidad;
- reparto justo y equitativo de los beneficios;
- sostenibilidad socioeconómica;
- cumplimiento legal;
- respeto de los derechos de los actores;
- derecho de uso y acceso a los recursos naturales.

Aunque el comercio y la bioutilización pueden ser un factor indirecto de pérdida de biodiversidad por extracción y degradación excesivas, aplicar los principios y criterios (P+C) del biocomercio significa respetar la biodiversidad y apoyar los medios de vida, además de contribuir a la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. En ALC, CAF impulsó la implementación de estos principios, en particular a través del proyecto de Biocomercio Andino.

Además de respetar los principios de sostenibilidad en el biocomercio y la bioutilización, complementar la bioextracción (que implica la extracción física de materiales biológicos, como plantas, microorganismos o recursos genéticos, de su entorno natural) hacia una innovación basada en la biodiversidad respetuosa con el medioambiente puede mitigar el impacto ambiental negativo y, al mismo tiempo, conservar los beneficios económicos. Por ejemplo, la biomímesis, que implica emular la biología, es diferente de la recolección de organismos para lograr una función deseada y, por lo tanto, marca una divergencia con la Revolución Industrial, que fue “una era basada en lo que podemos extraer de la naturaleza” (Benyus, 1997). En lugar de “usar un organismo para ‘hacer lo que hace’”, la biomímesis pretende aprovechar los principios de diseño incorporados por el organismo (Kennedy et al. 2013). Esto equivale a la diferencia entre usar las propias luciérnagas para producir luz y comprender y aplicar la compleja química que interviene en la bioluminiscencia (Helms et al. 2009; Kennedy et al. 2013). Estudios recientes de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas han identificado la biomímesis entre las posibles vías de desarrollo de la bioeconomía en la región (Rodríguez, 2019; Gramkow, 2020). Sin embargo, a pesar de su considerable

potencial, el sector de la innovación inspirada en la biodiversidad se encuentra hasta ahora en una fase más bien incipiente en toda América Latina y el Caribe, como se explica con más detalle en la siguiente sección.

4.



**Cómo aprovechar
la biodiversidad
como puerta
de entrada a
la ciencia e
innovación en ALC**

4. Cómo aprovechar la biodiversidad como puerta de entrada a la ciencia e innovación en ALC

La biodiversidad como factor crítico para tres tipos de innovaciones

Como se explica en la sección 2, América Latina y el Caribe presentan un gasto en I+D extremadamente bajo, ya que el gasto promedio en I+D de la región (en porcentaje del PIB) es uno de los más bajos del mundo. En esta sección, se explora en qué medida la biodiversidad abre vías a la innovación. Esto es especialmente relevante, ya que las soluciones que se encuentran en la naturaleza suelen ofrecer resultados superiores en términos de sostenibilidad, lo que a su vez se considera la próxima frontera de la innovación (Nidumolu et al., 2009; Lema et al. 2020; Lebdioui 2024). En este sentido, un desafío clave en la región de ALC es cómo aprovechar la biodiversidad existente para apoyar los esfuerzos de innovación y el salto a la frontera tecnológica, no solo como una forma de desarrollar capacidades de innovación, sino también para alcanzar niveles de vida más elevados.

Más allá de su valor ecológico esencial, los ecosistemas naturales pueden tener un valor considerable como fuente de información que puede alimentar los procesos de innovación. Numerosos economistas han descrito el proceso de I+D como un proceso de uso, aplicación y difusión de la información (p. ej., Arrow, 1962) que depende de una reserva de “información” para generar innovaciones útiles (Stoneman, 1983). En esa perspectiva, la biodiversidad es una de las principales

fuentes de un acervo de información al que se puede acceder para encontrar posibles conceptos de solución a los problemas sociobiológicos (Swanson, 1993). Como se explicó anteriormente, la biodiversidad genera beneficios directos para la humanidad, pero también tiene valor como fuente de información que puede apoyar la investigación, la innovación y los procesos industriales (consulte Benyus, 1997; Simpson et al., 1996; Swanson, 1996).

En este sentido, la biodiversidad de ALC representa una gran oportunidad para la innovación. La biodiversidad única de América Latina ofrece oportunidades para que la región dé un salto hacia adelante en materia de ciencia e innovación, con una gran cantidad de aplicaciones posibles y demanda en todo el mundo, dado que los desafíos globales como el cambio climático, el agotamiento de los recursos, la conservación medioambiental y la inseguridad alimentaria se pueden abordar mediante innovaciones basadas en la biodiversidad.

Algunos países de ALC ya mostraron loables esfuerzos por capitalizar el valor innovador de la biodiversidad a través de la bioprospección. La iniciativa más conocida tuvo lugar en la década de 1990 en Costa Rica con la creación del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), que trabajó bajo la premisa de que un país será capaz de conservar una parte importante de su biodiversidad silvestre si esta genera suficientes beneficios intelectuales y económicos para compensar su mantenimiento (Mateo et al. 2001). Sin embargo, en toda la región solo existen unas pocas políticas gubernamentales y, hasta ahora, el espíritu empresarial ha sido más bien mínimo en comparación con su potencial previsto (Lebdioui, 2022).

En ese sentido, es útil distinguir tres tipos de estrategias de innovación centradas en la biodiversidad en América Latina y el Caribe: tecnología de conversación, bioutilización y bioinspiración (Lebdioui, Puga Duran y Santos, de próxima publicación), según se explica con más detalle en la tabla 2.

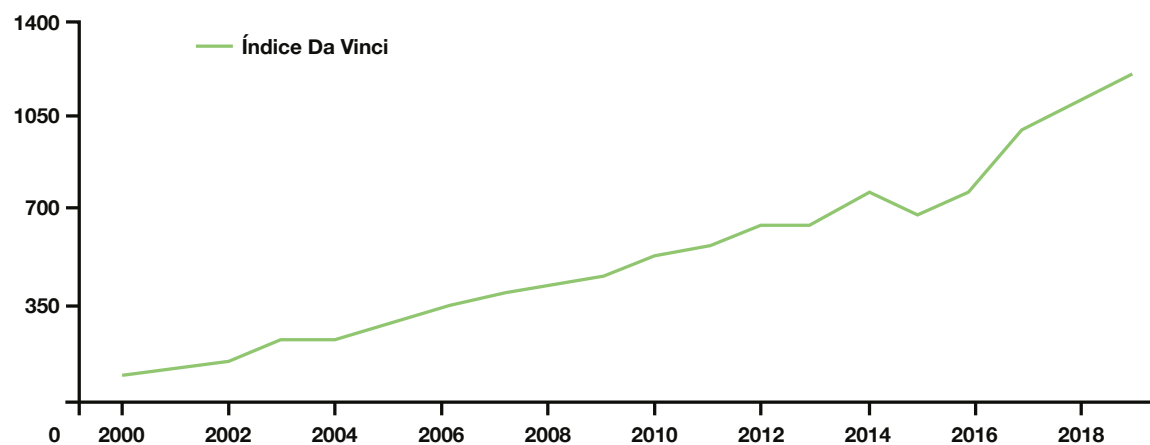
Entre estos tres tipos de ecosistemas de innovación, el tercero es el más prometedor como parte de una economía virtuosa del conocimiento basada en la naturaleza (consulte la sección 1) y, sin embargo, el más subdesarrollado en América Latina. De hecho, el campo de la biomímesis ha experimentado un gran auge en los últimos 20 años. Las patentes de biomímesis, artículos académicos y becas de investigación aumentaron doce veces entre 2000 y 2019, como se muestra en la figura 10. Entre 1985 y 2005, se presentaron proporcionalmente más patentes de biomímesis que de otro tipo (Bonser, 2006). La tasa de presentación de patentes relacionadas con la biomímesis también aumentó rápidamente después de la década de 1990 y a principios de la década de 2000 (Pawlyn, 2016). El rápido desarrollo de la biomímesis como campo también se pone de manifiesto con la creciente demanda de capacitación en teoría y práctica de la biomímesis (Lepora et al., 2013).

Tabla 3 | Tres tipos de estrategias de innovación basada en la biodiversidad.

	La tecnología de la conservación se refiere al uso de herramientas, datos y tecnologías avanzadas para supervisar, gestionar y proteger los ecosistemas naturales. Estas tecnologías mejoran la capacidad de supervisión y gestión de las zonas protegidas, y detectan las amenazas a los ecosistemas naturales, mejorando así los esfuerzos de conservación. Por ejemplo, en Brasil, el creciente uso de drones permite vigilar la deforestación en el Amazonas capturando imágenes de alta resolución, lo que ayuda a las autoridades y los ecologistas a detectar actividades de tala ilegal y controlar la salud de los bosques. En el Caribe, las tecnologías de teledetección, como las imágenes por satélite y los sensores submarinos, se han utilizado para vigilar la salud de los arrecifes de coral, apoyando la labor del Programa de Productividad Marina Costera del Caribe que, desde 1992, recopila datos para estudiar los procesos de interacción entre la tierra y el mar.
	La bioutilización y bioprospección implica el uso de recursos biológicos con fines económicos, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad y obtener valor de la biodiversidad. Puede incluir desde la recolección de productos naturales hasta la búsqueda de compuestos de valor comercial en la naturaleza. Costa Rica ha sido líder mundial en bioprospección, sobre todo a través de iniciativas como INBio, que colaboró con empresas farmacéuticas y cosméticas para identificar plantas y organismos con posibles usos medicinales o comerciales, garantizando al mismo tiempo prácticas de recolección sostenibles. En la Amazonia, varios centros de investigación se dedican a la extracción de ácidos orgánicos y compuestos fenólicos de frutas locales como el açaí y el cupuaçu como insumos para la industria farmacéutica y cosmética.
	La bioinspiración, o biomímesis , consiste en aprender e inspirarse en sistemas, estructuras y organismos naturales para desarrollar soluciones innovadoras en ingeniería, diseño y tecnología. La biomímesis permite aprovechar el valor de la naturaleza como fuente de información que puede alimentar los procesos de innovación, produciendo diseños y soluciones más eficientes en el uso de los recursos, lo que tiene especial relevancia en la arquitectura, la ciencia de los materiales y la energía. A pesar de encontrarse en una fase incipiente en América Latina y el Caribe, existen varias iniciativas para aprovechar la biomímesis para la innovación. En Brasil, por ejemplo, los ingenieros han estudiado los termiteros, que regulan la temperatura de forma natural, para diseñar edificios energéticamente eficientes. En Ecuador, los biólogos desarrollaron empresas derivadas universitarias que aprovechaban las capacidades de las microalgas volcánicas endémicas de Ecuador para fabricar biofiltros que captaran el CO2 de los entornos urbanos y lo convirtieran en oxígeno.

Fuente: Lebdioui, Puga Duran y Santos (de próxima publicación)

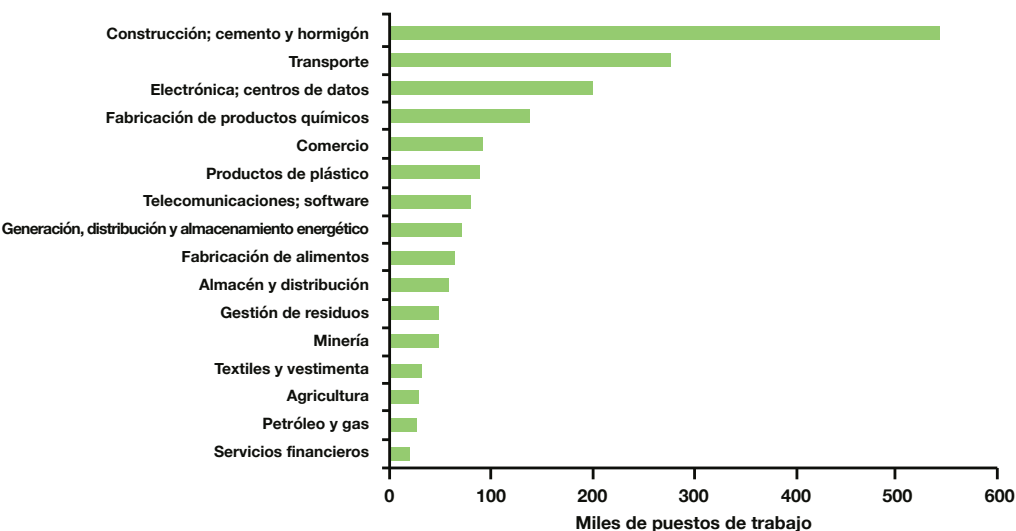
Fig. 10 | Evolución de la investigación y las patentes relacionadas con la biomímesis (Índice Da Vinci). Índice, 2000 = 100



Fuente: Fermanian Business & Economic Institute.
(Nota: El Índice Da Vinci [creado por Fermanian Business & Economic Institute y lanzado en 2011] mide la actividad en el campo de la bioinspiración mediante el seguimiento de la cantidad de artículos académicos, patentes, subvenciones y valor en dólares de las subvenciones).

Las actividades de biomímesis pueden generar grandes efectos indirectos en términos de creación de valor y empleo. Las estimaciones de Fermanian Business & Economic Institute (2013) sugieren que, para 2030, la biomímesis podría representar hasta USD 425 mil millones del PIB de los Estados Unidos y USD 1,6 billones de la producción mundial (ibid.). También se espera que los productos bioinspirados aumenten el empleo y la productividad en varios sectores, con las mayores contribuciones de una sola industria en los sectores de la construcción, el transporte, la fabricación de productos químicos y la energía (consulte la figura 11).

Fig. 11 | Impacto previsto de la innovación bioinspirada en el empleo en 2030.

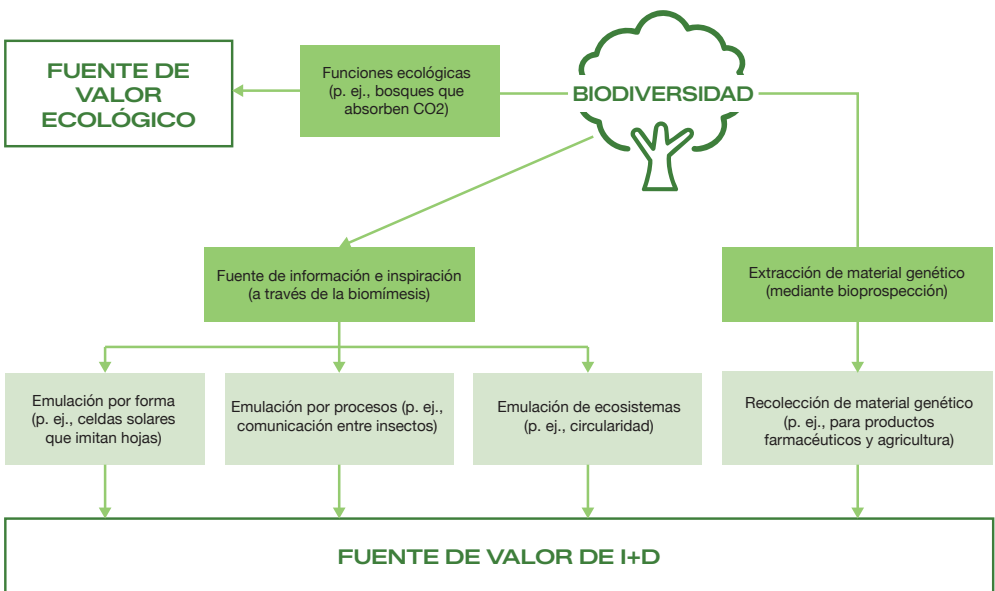


Fuente: FBEI (2015)

De la bioutilización a la innovación bioinspirada: de lo basado en la naturaleza a lo inspirado en la naturaleza

Aunque la mayor parte de la actividad de innovación basada en la biodiversidad de ALC parece centrarse en la bioutilización, hay otro ámbito de innovación que parece mucho más prometedor en función de las dimensiones de escalabilidad y sostenibilidad que ofrece: la innovación bioinspirada. La innovación bioinspirada, también conocida como biomimetismo o biomímesis, se basa en una perspectiva de la biodiversidad como banco de ideas (Benyus, 1997, Lebdioui, 2022a y 2024). Este método es diferente de la recolección de organismos para cumplir una función: en lugar de usar un organismo para “hacer lo que hace”, la biomímesis pretende aprovechar los principios de diseño incorporados por el organismo (figura 12).

Fig. 12 | De la biodiversidad al valor de la I+D. Formas, procesos y ecosistemas.



Fuente: Lebdioui (2022a)

Para 2030, la biomímesis podría sumar alrededor de USD 1,6 billones a la producción mundial total, con un impacto positivo de entre el 5 % y el 15 % en los ingresos de los sectores de la fabricación electrónica, los servicios públicos (agua y energía) y, en general, la ingeniería (Fermanian Business & Economic Institute, 2013). La naturaleza puede ofrecer modelos de energía sostenible, desde tareas específicas de un sector (generación, transmisión, almacenamiento) hasta eficiencias globales en todas las industrias. Las innovaciones inspiradas en procesos naturales pueden dar lugar a

grandes avances en términos de eficiencia energética y tecnologías renovables. Al actuar como I+D natural, la evolución históricamente ha seleccionado los diseños más eficientes y óptimos, y ha descartado los no funcionales. Los datos sugieren, por ejemplo, que los diseños energéticamente eficientes podrían transformar hasta el 10 % de la industria de equipos de transporte (incluidos coches, camiones, aviones y barcos). Por lo tanto, las soluciones de biomímesis que se encuentran y desarrollan en ALC tienen el potencial de impulsar la frontera de la innovación en torno a la generación de energía, la captura y eliminación de CO2 y la eficiencia de los recursos, y también de abrir oportunidades de inversión en esas áreas. Este enfoque energético se justifica porque este sector es el que ofrece más sinergias entre los desafíos actuales de la industria, las soluciones de la naturaleza y los incentivos reglamentarios, y por los desafíos que afrontan los sectores digitales, que se describen en la sección II.

El panorama de la innovación bioinspirada en ALC y los vectores para la ampliación de capacidades

A pesar de su considerable potencial, el campo de la bioinspiración se encuentra hasta ahora en una fase bastante incipiente en toda América Latina, y ha recibido mucha menos atención que la bioprospección/bioutilización. Brasil, pese a ser el país con mayor biodiversidad del mundo, se ha quedado muy atrás en cuanto a la creación de un ecosistema de biomímesis, lo que puede explicarse en parte por la recesión económica de años anteriores, que llevó a muchas organizaciones a recortar sus capacidades de I+D. La bioinspiración es también un área de enorme potencial para Chile, dada la diversidad de su ecosistema y la cantidad de especies endémicas. Por ejemplo, más del 62 % de las especies marinas de Chile son endémicas del país y no se encuentran en otros lugares (Conicyt, 2016). No obstante, el sector se encuentra en una fase incipiente en Chile, aunque existen algunas investigaciones, empresas y programas patrocinados por el Estado, en especial gracias a Start-up Chile.

Hay una serie de obstáculos que explican el estado incipiente de la innovación bioinspirada en ALC, en comparación con otras partes del mundo. Estudios anteriores (Lebdoui, 2022) complementados con un reciente trabajo de campo en la región amazónica en julio de 2025 y consultas con más de 20 centros de investigación de América Latina y el Caribe muestran que los principales obstáculos son los siguientes:

- Acceso limitado a infraestructuras físicas y digitales relacionadas con la investigación sobre biodiversidad.

- Falta de coordinación y armonización entre los sistemas taxonómicos existentes para facilitar el mapeo y el estudio del material genético existente.
- Falta de masa crítica de capital humano que cuente con el tipo adecuado de capacitación multidisciplinar a lo largo de todo el ciclo de vida de la innovación centrada en la biodiversidad. En toda ALC, son muy pocas las universidades que ofrecen la capacitación técnica interdisciplinaria que se necesita para convertir las capacidades locales ya existentes de mapeo biológico en innovaciones tecnológicas.
- Biopiratería: uso no autorizado de recursos genéticos o conocimientos autóctonos con fines lucrativos sin una compensación justa.
- El inadecuado apoyo financiero a la ciencia y la innovación, los elevados costos de funcionamiento de los laboratorios y la debilidad de los mecanismos para garantizar financiamiento a largo plazo o no reembolsable para desarrollar empresas derivadas, y ampliar y comercializar soluciones innovadoras basadas en la naturaleza, lo que lleva a los innovadores de ALC a depender en exceso de pequeñas subvenciones.

Tabla 4 | Empresas emergentes y firmas seleccionadas basadas en la innovación bioinspirada en América Latina y el Caribe.

Empresa emergente	Año de fundación	País	Descripción
Nucleário	2015	Brasil	Desarrolla un dispositivo de reforestación inspirado en las bromelias y las semillas aladas, diseñado para proteger las plántulas de árboles, conservar el agua y evitar las gramíneas invasoras.
Strong by Form	2019	Chile	Utiliza una tecnología de fabricación llamada Woodflow, que imita la eficacia estructural de los árboles para crear compuestos de madera ultraligeros y de alto rendimiento para las industrias de la construcción y la movilidad.
Copper3d	2017	Chile	Desarrolla nanocompuestos antibacterianos para aplicaciones de fabricación aditiva en prótesis de impresión 3D, separador quirúrgico, dispensador de pastillas para la industria médica.
SAS Chile		Chile	Realiza análisis de abejas y otros insectos para comprender la toma de decisiones neuronal y tratar de aplicarlo a sus productos analíticos y de software.
Cells for Cells	2010	Chile	Empresa derivada biotecnológica de la Universidad de los Andes que se dedica a la investigación, el desarrollo y la comercialización de terapias celulares innovadoras.
Eutrolife	N/C	Colombia	Imitando las funciones de filtración de las salpas y las rayas diablo, Eutrolife es un sistema modular diseñado para tratar las masas de agua eutrófica filtrando las aguas superficiales y redistribuyendo el exceso de nutrientes.
Anuka	2017	Ecuador	Diseña, construye e implementa biofiltros urbanos para capturar el CO2 atmosférico y transformarlo en oxígeno.
ALIS Biotecnología	2018	México	Desarrolla sistemas vivos para el tratamiento de aguas residuales.

Empresa emergente	Año de fundación	País	Descripción
Bio Thermosmart	2017	México	Aplica las lecciones aprendidas de los sistemas circulatorios de los animales para desarrollar un sistema de calefacción, ventilación y refrigeración de edificios que aprovecha el calor residual y lo devuelve al sistema, reduciendo costos, emisiones de combustibles fósiles y energía.

Fuente: Elaboración basada en investigación documental

Cuadro 1. Nucleário (Brasil): protector de plántulas inspirado en las bromelias para una reforestación escalable

Nucleário es un anillo biodegradable que rodea las plántulas, recoge y almacena el agua de lluvia, da sombra al suelo, bloquea las hierbas invasoras y disuade a las hormigas cortadoras de hojas. Su tecnología se inspira en las rosetas de las bromelias que atrapan el agua, y en la aerodinámica de las semillas aladas. El diseño imita las estrategias naturales para proteger las plantas jóvenes en zonas forestales degradadas. El objetivo es reducir los costos de mantenimiento tras la plantación y mejorar las tasas de supervivencia en lugares de restauración de difícil acceso.

¿Por qué es importante? Al reducir la mano de obra y los insumos químicos, y mejorar la supervivencia de las plántulas, Nucleário reduce la curva de costos por árbol para la restauración forestal a gran escala, convirtiendo los proyectos frágiles en emprendimientos de restauración viables y escalables. Es un ejemplo de bioinspiración que aporta eficiencia operativa a la resiliencia climática y la recuperación de la biodiversidad.

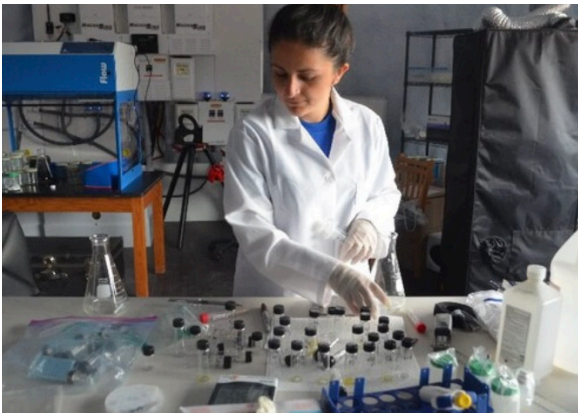


Bruno Rutman, director ejecutivo, interviene en el taller UFPa-Oxford sobre bioinnovación en Belén, julio de 2024

Cuadro 2. Costa Rica: hidrogel inspirado en el gusano de terciopelo para aplicaciones médicas

La investigación dirigida por Yendry R. Corrales-Ureña en LANOTECH-CENAT explora el gusano de terciopelo (Onychophora) y su baba única: un hidrogel basado en proteínas que responde al cizallamiento y se endurece rápidamente formando fibras. Este mecanismo natural ha inspirado el diseño de adhesivos e hidrogeles médicos biocompatibles y activables que podrían transformar el cuidado de heridas y la ingeniería de tejidos. La baba del gusano, que puede licuarse y volver a solidificarse de forma reversible, ofrece un modelo de sistemas poliméricos reciclables y sostenibles.

¿Por qué es importante? Un hidrogel bioinspirado que se coloca a demanda tiene importantes implicaciones para la cirugía, la medicina regenerativa y la ciencia de materiales sostenibles. La investigación de Corrales-Ureña tiende un puente entre la biodiversidad de Costa Rica y la innovación en materiales avanzados, demostrando cómo los ecosistemas científicos locales pueden convertir la biodiversidad en tecnologías globales de alto valor.



Cuadro 3. Anuka (Ecuador): biofiltros urbanos de microalgas para la captura de CO₂ y la calidad del aire

Fundada en 2017 por Queenny López y Gabriela Samaniego, Anuka desarrolla biofiltros cilíndricos de microalgas que aspiran el aire ambiente, filtran las partículas y utilizan la fotosíntesis para convertir el CO₂ en O₂, mejorando la calidad del aire en zonas urbanas densas. El nombre del proyecto, “Anuka”, significa algas en kichwa, lo que refleja tanto la cultura local como la innovación biotecnológica.

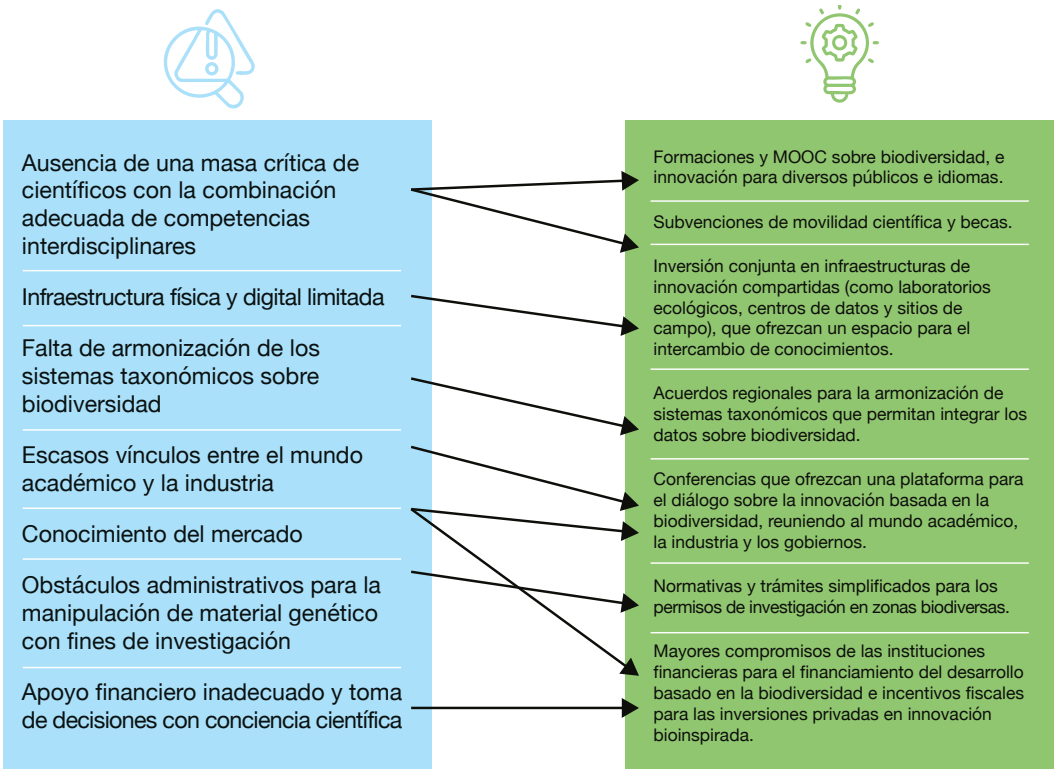
¿Por qué es importante? Las ciudades producen alrededor del 70 % de las emisiones de CO₂, pero pocas despliegan infraestructuras biológicas. El fotobiorreactor de Anuka replantea el diseño urbano como tecnología climática viva con beneficios medibles para la salud pública. El equipo ha ganado los primeros premios a la innovación (incluido el GIST Tech) y pretende ampliar su implementación en Quito y otras ciudades andinas. Muestra cómo el diseño bioinspirado y la lengua indígena pueden coexistir en la innovación práctica y empresarial.

Afortunadamente, existen soluciones. Por ejemplo, actualmente, gracias a las consultas con las partes interesadas, en particular a través del simposio científico organizado por CAF en agosto de 2024, que reunió a diversas instituciones científicas e institutos de biodiversidad, se pueden identificar varias soluciones para la innovación basada en la biodiversidad. Las soluciones incluyen la capacitación interdisciplinaria en diversos métodos de innovación basada en la biodiversidad (incluida la biomímesis), que pueden diseñarse en un formato (como los cursos masivos abiertos en línea [MOOC, por sus siglas en inglés]) para atraer el máximo volumen de beneficiarios en ALC; subvenciones de movilidad científica para que los científicos de ALC realicen estancias de investigación en el extranjero en instituciones que complementen su experiencia; inversión conjunta en infraestructuras de innovación compartidas (como laboratorios ecológicos, centros de datos y sitios de campo), que ofrezcan un espacio para el intercambio de conocimientos, en especial en zonas biodiversas transfronterizas (p. ej., el Amazonas o los ecosistemas marinos compartidos en el Caribe); acuerdos regionales para la armonización de los sistemas taxonómicos que permitan integrar los datos sobre biodiversidad; conferencias que ofrezcan una plataforma para el diálogo sobre la innovación basada en la biodiversidad, reuniendo al mundo académico, la industria y los gobiernos; y normativas y trámites simplificados para los permisos de investigación en zonas biodiversas.

Las medidas antes mencionadas se pueden considerar “facilitadoras” pero, para hacer realidad el potencial de ALC de convertirse en líder mundial de la innovación tecnológica bioinspirada, es posible que se necesite una intervención estratégica para promover tanto las capacidades fundacionales como las avanzadas. La región

ya posee capacidades fundacionales clave en materia de ciencias biológicas (en especial con conocimientos científicos en áreas como la ecología, la química de productos naturales y la biología de la conservación), que sirven de base para la innovación bioinspirada. De cara al futuro, se requieren más esfuerzos para promover las capacidades de ingeniería, así como la interdisciplinariedad necesaria para adquirir una combinación estratégica de competencias fundacionales que se necesitan para la innovación bioinspirada.

Fig. 13 | Correspondencia entre obstáculos para la innovación basada en la biodiversidad y las posibles soluciones en 2030.



Fuente: Elaboración propia basada en consultas con partes interesadas y en un simposio científico organizado en agosto de 2024 en Bogotá, Colombia.

Sin embargo, las capacidades fundacionales por sí solas no bastan para pasar de la investigación a las innovaciones listas para el mercado. Por ello, un segundo vector consiste en fomentar las capacidades avanzadas, que siguen estando subdesarrolladas en gran parte de la región. La polinización cruzada entre las ciencias fundamentales y las tecnologías avanzadas, como la biotecnología y la inteligencia artificial (IA), es fundamental para desbloquear todo el valor de la biodiversidad (Lebdoui, Melguizo y Munoz, 2025). La biotecnología moderna ofrece la oportunidad única de transformar la biodiversidad en un motor clave del crecimiento económico a través de su valoración, uso sostenible y conservación. Por ejemplo, la ingeniería genética y la biología sintética pueden desarrollar bioproductos de alto valor, mientras que la potencia computacional de la inteligencia artificial puede optimizar el descubrimiento y la aplicación de soluciones inspiradas en la biodiversidad, como se expone en la siguiente sección.

5.



**Biointeligencia:
la ecologización
de la inteligencia
artificial como una
oportunidad en ALC**

5. Biointeligencia: la ecologización de la inteligencia artificial como una oportunidad en ALC

Descripción general de las oportunidades de la IA y las limitaciones que plantea el uso intensivo de recursos

La inteligencia artificial (IA) es una innovación tecnológica definitoria de nuestro tiempo, que ofrece un inmenso potencial de transformación económica, en concreto en América Latina y el Caribe (ALC). Sin embargo, las crecientes demandas energéticas y materiales de la IA son cada vez más incompatibles con los imperativos de sostenibilidad y biodiversidad de la región. Si no se controla, esta revolución podría agravar la pérdida de biodiversidad e intensificar los riesgos climáticos, poniendo en peligro la riqueza ecológica de ALC.

Las soluciones basadas en la IA pueden abordar las brechas en términos de infraestructura, industrializar nuevos sectores e impulsar el emprendimiento digital. El potencial productivo de la región es inmenso: la IA podría contribuir hasta un 5,4 % del PIB de ALC para 2030, una estimación probablemente conservadora, dados los puntos de partida de la IA pregenerativa (McKinsey, 2018). Proyecciones más recientes sugieren que la IA generativa podría amplificar este impacto hasta en un 40 % (McKinsey, 2023), aunque otras voces señalan que los efectos transformadores

podrían tardar años en materializarse o concentrarse en la automatización de tareas más que en una amplia renovación económica (Acemoglu, 2024).

La buena conectividad de ALC, su riqueza de recursos naturales y su matriz energética relativamente limpia la sitúan como principal candidata para un desarrollo sostenible basado en la IA. Sin embargo, el desarrollo de la IA en ALC también plantea grandes riesgos. En primer lugar, el déficit de competencias digitales limita la capacidad de la región para aprovechar plenamente la IA, creando el riesgo de que gran parte de la sociedad, en especial los grupos marginados como las mujeres, las comunidades rurales, los grupos indígenas y los grupos de bajos ingresos, queden al margen de estos avances tecnológicos. La persistencia de brechas en términos de capital humano y tecnología, y la falta de una gobernanza regional de la IA, significan que la IA podría reproducir e incluso amplificar las trampas para el desarrollo de ALC; en otras palabras, baja productividad, alta desigualdad, instituciones débiles y riesgos ambientales (Muschett y Opp, 2024, Aguilar et al., 2023, CEPAL, 2022).

En segundo lugar, el voraz apetito de recursos de la IA amenaza los ecosistemas locales, con una creciente preocupación científica por la aceleración de las huellas medioambientales (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO, por sus siglas en inglés], 2024; Gmyrek et al., 2024). La deforestación, la minería irresponsable, la competencia por los minerales y el agua y, sobre todo, las presiones de los centros de datos en regiones propensas a la sequía como Chile, México y Uruguay plantean *dilemas* difíciles. La falta de transparencia en torno a la intensidad de recursos de los centros de datos agrava estos riesgos (Lebdioui et al., 2025). Aun así, la innovación política es posible: el Plan Nacional de Data Centers (2024-2030) recién lanzado en Chile ofrece un modelo regional, con el objetivo de movilizar USD 4 mil millones, ampliar la capacitación del sector e integrar la responsabilidad medioambiental.

La aceleración del consumo de energía y recursos por parte de la IA, con un aumento anual de dos dígitos de la huella medioambiental de las empresas, precipita ahora un conflicto directo. ¿Prioriza la región la rápida expansión de la IA y del sector de datos, arriesgando una mayor pérdida de biodiversidad? O, por el contrario, ¿limita el crecimiento energético para proteger los ecosistemas, frenando el impulso de la IA?

Afrontar esto implica asumir las exigencias extraordinarias que imponen las innovaciones en IA: desde la extracción de tierras raras y minerales para fabricar semiconductores, hasta los enormes requerimientos de agua y energía necesarios para entrenar modelos de lenguaje de gran escala y operar centros de datos. En ALC, donde el capital natural es a la vez motor y limitación, las mayores necesidades energéticas de la IA entrañan el riesgo de graves costos económicos y medioambientales. Estos problemas se ven agravados por la preocupante falta de transparencia medioambiental: las principales empresas de IA a menudo no

revelan los datos sobre emisiones o recursos procedentes del entrenamiento de modelos (Stanford Institute for Human-Centered AI, 2024; Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT], 2024). La IA mundial podría suponer la extracción de entre 4.200 y 6.600 millones de metros cúbicos de agua en 2027, lo que representa la mitad de la demanda anual del Reino Unido (Kenny, 2025).

Las revelaciones medioambientales confirman el fuerte aumento del uso de energía y recursos en la tecnología, con la IA como principal impulsor. El suministro de electricidad limpia se perfila como una restricción crítica (y una palanca) para el futuro del sector. Según la AIE (2024a), el consumo de electricidad de los centros de datos podría superar los 1.000 TWh en 2026, lo que equivale al uso combinado actual de Brasil, Chile, México y Uruguay. Esta presión sitúa a la matriz de energía limpia de ALC en el centro de los riesgos y de las oportunidades.

La ecologización de la IA: ¿una oportunidad para ALC?

La ecologización de la IA, especialmente en relación con las cuestiones de biodiversidad, es muy relevante para América Latina y el Caribe porque representa no solo riesgos, sino una “ventana de oportunidades ecológicas” sin precedentes para la región. La transición ecológica abre muchas puertas al desarrollo tecnológico e industrial (Lema et al. 2020), lo que equivale al advenimiento de un nuevo “paradigma tecnoeconómico”, tal y como plantean Christopher Freeman (1992, 1996) y Carlota Perez (2016).

La capacidad instalada de energías renovables de ALC y su matriz de energía más limpia en promedio, en comparación con el resto del mundo (con más de 400 vatios per cápita de capacidad instalada de energías renovables, el doble del promedio mundial; consulte Lebdioui 2022), le dan una ventaja para aprovechar esa ventana de oportunidades ecológicas para la IA. Además, la iniciativa Renovables en Latinoamérica y El Caribe (RELAC) tiene como objetivo aumentar aún más la proporción de energías renovables en el conjunto de electricidad de los países de América Latina y el Caribe hasta al menos el 70 % en 2030, promoviendo la cooperación regional en la adopción de energías renovables y la integración en la red.

Sin embargo, no es solo la energía limpia de ALC lo que le da ventaja para aprovechar la ventana de oportunidades ecológicas, sino también su biodiversidad. Gracias a sus 3.400 millones de años de I+D natural, la biodiversidad de ALC puede proporcionar un banco de ideas de innovación (Benyus, 1994, y Lebdioui, 2022a), lo cual es importante porque las nuevas empresas emergentes de IA a nivel mundial obtienen valor principalmente del ingenio tecnológico (OxValue.AI, 2024). Por lo tanto, la

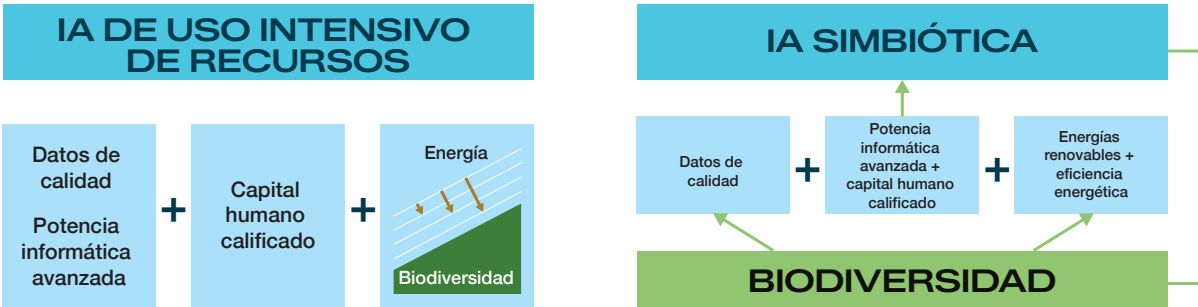
biodiversidad, a través de la bioinspiración, se debe integrar plenamente en el centro de las agendas de innovación e IA de la región. Lejos de ser un obstáculo para el desarrollo, la biodiversidad puede aprovecharse para la prosperidad económica, la innovación en IA y la sostenibilidad a largo plazo. En este reporte, se explica cómo la biodiversidad, si se sitúa en el centro de la política de IA y el diseño de ecosistemas, puede impulsar el desarrollo productivo sostenible.

¿Puede la IA aprender de la naturaleza? De una IA de uso intensivo de recursos a una IA simbiótica

¿Es posible una *relación virtuosa entre la IA, la energía y la biodiversidad*? Existe cada vez más evidencia de notables innovaciones impulsadas por la IA en materia energética, lo que sienta una buena base para la transición (UIT, 2024, Chen et al., 2023; CEPAL, 2022).

En todos los sectores, la IA permite implementar nuevas prácticas sostenibles: la agricultura de precisión reduce el consumo energético al tiempo que mejora la productividad al emplear sensores y análisis avanzados para supervisar el suelo, el agua y el clima; las aplicaciones de IoT y 5G en la industria mejoran la eficiencia y la optimización de los recursos en tiempo real mediante análisis predictivos, optimizando el consumo energético en tiempo real y ajustando la demanda en función de los datos medioambientales y operativos (Rojek et al., 2023; Tace et al., 2023).

Fig. 14 | De una IA de uso intensivo de recursos a una IA simbiótica.



Fuente: Lebdioui et al. 2025

Quizás lo más importante para ALC sea que la IA es una herramienta de primera línea para la conservación y la mitigación. Ahora, potentes modelos de aprendizaje automático pueden procesar datos de satélites y sensores para detectar la deforestación ilegal, el tráfico de especies silvestres y la contaminación casi en tiempo real, lo que permite emitir alertas tempranas y realizar intervenciones específicas, sobre todo en zonas extensas como la Amazonia, que es fundamental para la frágil biodiversidad de la región y los bosques críticos desde el punto de vista climático. La IA también mejora la respuesta ante catástrofes, ya que ofrece análisis predictivos para huracanes, inundaciones y sequías que ya se están poniendo en práctica (Silvestro et al., 2022).

Curiosamente, la IA no tiene por qué ser solo una herramienta de conservación, sino que también puede estudiar la naturaleza. Al inspirarse en modelos biológicos, la investigación con IA puede abrir nuevas vías de eficiencia en hardware y arquitecturas, superando el crecimiento lineal “de uso intensivo de recursos” del pasado. En el núcleo mismo de un futuro ecosistema con IA “consciente de la naturaleza” se encuentra el ambicioso concepto de innovación bioinspirada, que se analiza a continuación. En efecto, la naturaleza puede inspirar soluciones energéticas que permitan mantener el impulso de la IA y, al mismo tiempo, fomentar un crecimiento sostenible resistente y contribuir a la conservación de la biodiversidad (Lebdioui et al. 2025).

La bioinspiración como frontera de la innovación para una simbiosis entre la IA y la biodiversidad

La biodiversidad tiene, en muchos sentidos, su lugar en el centro de este posible *ecosistema virtuoso con IA consciente de la naturaleza*. La IA ofrece potentes herramientas para conservar la biodiversidad. Puede vigilar las especies amenazadas, optimizar las prácticas agrícolas para reducir la deforestación y predecir los efectos del cambio climático, con el fin de mitigar la pérdida de biodiversidad. Una estrategia mucho menos explorada consiste en utilizar los conocimientos de la naturaleza para desarrollar sistemas con IA que no solo midan y mitiguen el impacto ambiental, sino que desbloqueen nuevas áreas de conocimiento para saltar a la frontera de la innovación sostenible. De hecho, ¿por qué no diseñar modelos con IA que busquen inspiración y aprendan de las estrategias que se encuentran en la naturaleza para resolver los retos de diseño humano con el fin de crear un futuro más sano, ecológico y sostenible?

Un ámbito especialmente prometedor es el de la denominada innovación bioinspirada, que se basa en una perspectiva de la biodiversidad como banco de ideas (Benyus, 1997, Lebdioui, 2022a y 2024). La innovación bioinspirada es diferente de la recolección de organismos para cumplir una función: en lugar de usar un organismo para “hacer lo que hace”, la biomímesis pretende aprovechar los principios de diseño incorporados por el organismo.

La “I+D” evolutiva de la naturaleza ofrece millones de soluciones eficientes y resilientes: desde turbinas eólicas inspiradas en las aletas de las ballenas y refrigeración de edificios por termiteros, hasta biomateriales más resistentes que el acero y almacenamiento de datos de ADN natural (Fermanian, 2013). La bioinspiración tiene el potencial de transformar la captación, el almacenamiento, la distribución y la eficiencia energética, reduciendo la huella de todo tipo de energía, desde los centros de datos hasta los vehículos eléctricos y las redes de sensores.

La IA está especialmente bien posicionada para ello: con la nueva armonización de datos y la interoperabilidad taxonómica, la IA puede analizar enormes conjuntos de datos biológicos, identificando y perfeccionando estrategias que han evolucionado en la naturaleza, desde redes neuronales y microbianas optimizadas para la computación perimetral, hasta mecanismos de enfriamiento inspirados en hojas y escarabajos para la gestión térmica del hardware. Sin embargo, persisten obstáculos que son importantes. Los datos biológicos están dispersos en bases de datos aisladas y, a menudo, incompatibles; la fragmentación de los ecosistemas de investigación y las limitaciones reglamentarias impiden la colaboración. Para ALC, la armonización regional de las normas, las nuevas redes de colaboración y las reformas reglamentarias para el acceso y el reparto de beneficios pueden desbloquear esta frontera de la innovación. Las herramientas basadas en la IA acelerarán la convertirán los “planos” biológicos en innovaciones de hardware, infraestructura y sistemas para los sectores productivos.

Tabla 5 | Ejemplos de soluciones energéticas sostenibles bioinspiradas.

Formas	
Materiales sostenibles	Los biomateriales, inspirados en estructuras como la seda de araña o los exoesqueletos de insectos, pueden ser ligeros y resistentes. Aplicando estos materiales al diseño de hardware de la IA, es posible reducir la energía necesaria para la producción de materiales y el funcionamiento de los dispositivos.
Optimización de la distribución de recursos	El aprendizaje profundo de patrones microbianos y redes de hongos, como el micelio, que distribuyen recursos con un mínimo de energía, puede inspirar arquitecturas de IA distribuida que minimicen la transferencia de datos y la energía de procesamiento (p. ej., la computación perimetral, donde el procesamiento se produce cerca de la fuente de datos).
Eficiencia energética a través de nuevas formas	El diseño de aletas de ballena (con sus protuberancias llamadas tubérculos) en las aspas de los aerogeneradores mejora la aerodinámica, lo que permite convertir la energía cinética en electricidad con mayor eficacia (proyecto WhalePower). El uso de los principios de ventilación natural observados en los termiteros reduce significativamente el uso del aire acondicionado y el consumo energético (Eastgate Center, Zimbabue). Este sistema se utiliza para refrigerar edificios y mejorar la eficiencia energética.

Estructuras superiores de almacenamiento de datos	El ADN sintético podría utilizarse para almacenar datos digitales, optimizando el consumo energético.
Procesos	
Generación de energía (incluida la fotosíntesis)	Fotosíntesis artificial para mejorar la eficiencia de las celdas solares (como la Hoja Artificial de Daniel Nocera). La IA puede entrenarse en la mecánica de la fotosíntesis para optimizar las fuentes de energía solar o incluso desarrollar fotosíntesis artificial. Esto podría ayudar a producir energía in situ que alimente los sistemas de IA de forma sostenible.
	La estructura de las algas puede inspirar procesos para generar electricidad a partir del flujo de agua (BioWave de BioPower Systems). Estos generadores se instalan en zonas costeras y proporcionan energía limpia y renovable.
	Las baterías piezoeléctricas, que son celdas de energía autocargables que convierten la energía mecánica (la relacionada con el movimiento y la posición de un objeto) en energía química, pueden ser una solución para cargar las baterías de vehículos eléctricos, mejorando la movilidad inteligente a larga distancia.
	Generación de electricidad inspirada en la estructura orgánica de la aleta pectoral de los peces eléctricos (como las rayas), compuesta de electroplacas (células aplanadas apiladas en columnas verticales como pilas de monedas).
Redes de sensores energéticamente eficientes	Los modelos de sensores biológicos ofrecen importantes lecciones para mejorar los sistemas de IA, dada la superioridad de los diversos sistemas sensoriales altamente sensibles y eficientes que se encuentran en la naturaleza (como los sentidos olfativos de los perros o los sistemas de navegación de abejas, aves y murciélagos). Al estudiar estos sistemas, los desarrolladores de IA pueden crear sensores más eficientes y que requieran menos energía para funciones como la vigilancia del medioambiente.
Gestión térmica y refrigeración	Algunas especies (p. ej., los escarabajos volcánicos de cuernos largos) han evolucionado con formas naturales para disipar el calor y reacciones químicas para reducir su temperatura corporal. El hardware inspirado en estos métodos naturales de regulación térmica podría mejorar la eficiencia de los sistemas de refrigeración de los centros de datos y el hardware de IA.
Ecosistemas	
Modelos circulares de flujo de energía y materiales	Principios de circularidad y reutilización de residuos en insumos para otros sistemas productivos, ya que los ecosistemas naturales funcionan según principios de reciclaje de residuos en los que el subproducto de una especie se convierte en el recurso de otra. Al diseñar sistemas de IA inspirados en estos principios circulares, el exceso de calor y los subproductos (como el calor del centro de datos) pueden redirigirse y utilizarse para alimentar otros procesos, reduciendo el consumo neto de energía.
Adaptación en tiempo real del consumo energético	Del mismo modo que los ecosistemas se ajustan de forma dinámica a los cambios medioambientales, los sistemas de IA se pueden diseñar para escalar sus operaciones en función de la disponibilidad energética en tiempo real y de las condiciones medioambientales.

Fuente: Elaboración basada en AskNature.org, BioMiG, y una revisión de la literatura científica en Lebdioui et al. 2025

En cuanto a la emulación de *formas*, los diseños biomiméticos pueden optimizar la captación y distribución de energía. Por ejemplo, los patrones microbianos y las redes de hongos, que permiten distribuir recursos con un mínimo de energía, podrían inspirar arquitecturas de IA distribuida que minimicen la transferencia de datos y la energía de procesamiento, como en la computación perimetral,

donde el procesamiento ocurre cerca de la fuente de datos. Los aerogeneradores de WhalePower incorporan estructuras de aletas de ballena para mejorar la aerodinámica y potenciar la captación del viento para generar electricidad. Del mismo modo, el Centro Eastgate de Zimbabue lidera la investigación sobre cómo reducir el consumo energético imitando la ventilación de los termiteros, mientras que biomateriales como la seda de araña inspiran la creación de materiales ligeros y duraderos en el hardware de IA, reduciendo la energía de producción.

La emulación de *procesos* consistiría en buscar inspiración en mecanismos biológicos, como la fotosíntesis (por ejemplo, la hoja artificial pretende replicar la fotosíntesis para mejorar la eficiencia energética en aplicaciones industriales), mientras que tecnologías como BioWave generan electricidad simulando el movimiento de las algas en las corrientes oceánicas. En el contexto específico del hardware de IA, el consumo energético podría reducirse con innovaciones de gestión térmica y refrigeración inspiradas en cómo distintas especies (como los escarabajos volcánicos) han evolucionado para disipar el calor usando métodos de regulación naturales, lo que podría aportar lecciones para mejorar la eficiencia de los sistemas de refrigeración en los datos. Estas soluciones ilustran cómo la imitación de los procesos biológicos puede mejorar la producción energética y la sostenibilidad.

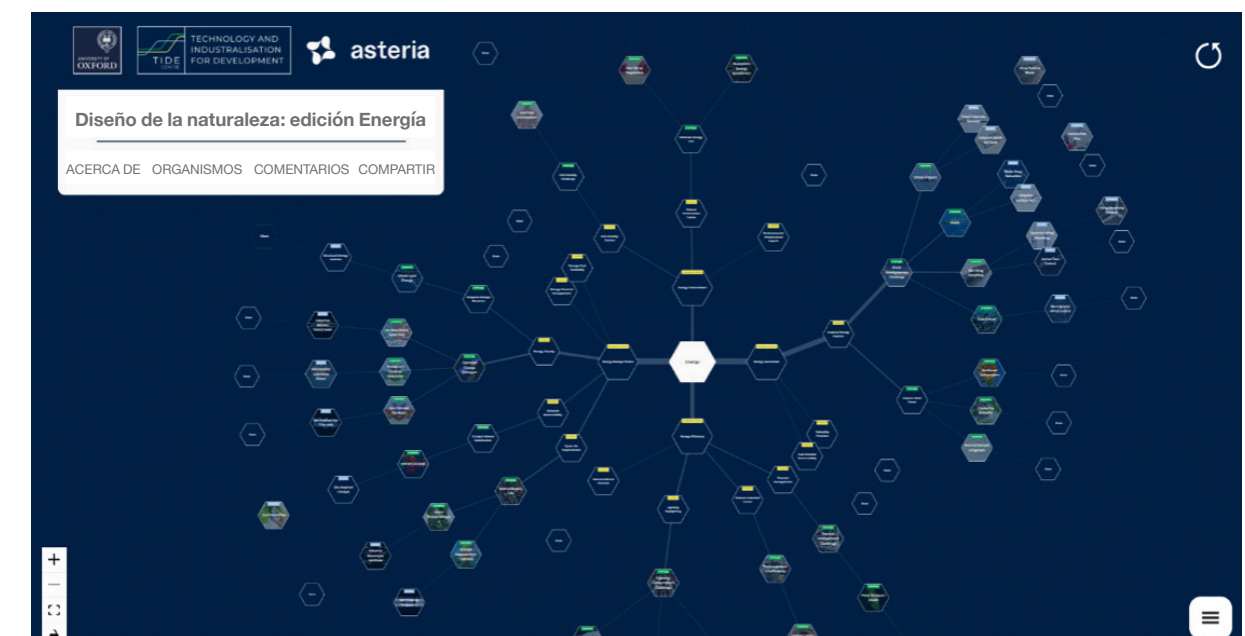
La industria de la IA también puede beneficiarse de las innovaciones *ecosistémicas* que se inspiran en las interacciones entre diversos organismos vivos. Por ejemplo, el principio de circularidad que se encuentra en la naturaleza y por el que los residuos se convierten en recursos para otros organismos se puede aplicar a los centros de datos y otros sistemas de IA para reducir el uso neto de energía. Inspirados en la adaptabilidad de los ecosistemas, los sistemas de IA también se pueden diseñar para ajustar dinámicamente el consumo energético en función de la disponibilidad, optimizando la eficiencia energética. Al emular los modelos de autorregulación y reducción de residuos que se encuentran en la naturaleza, estas innovaciones ofrecen vías prometedoras para la gestión sostenible de la energía.

En resumen, en lugar de usar la IA simplemente para optimizar los procesos industriales existentes, la IA ecológica se puede orientar para descubrir soluciones ya perfeccionadas por la evolución, convirtiendo de hecho la biodiversidad en una biblioteca de I+D viva. En este contexto, el Atlas de las Innovaciones de la Naturaleza, desarrollado por la Universidad de Oxford y Asteria, ejemplifica cómo la IA puede aportar direccionalidad a la innovación basada en la biodiversidad. La plataforma utiliza los agentes especializados en IA de Asteria para analizar conjuntos de datos biológicos y taxonómicos abiertos, buscando organismos y sistemas vivos que hayan evolucionado para resolver desafíos energéticos (eficiencia, almacenamiento, transmisión y generación). Al relacionar estas estrategias biológicas con problemas

industriales de eficiencia, almacenamiento, generación y transmisión de energía, el Atlas construye vías rastreables desde los diseños de la naturaleza hasta las posibles tecnologías bioinspiradas. Cada coincidencia incluye una explicación del mecanismo biológico, por qué se ajusta a la restricción de ingeniería, qué especies lo ilustran y cómo puede inspirar una solución funcional o material.

Este enfoque pone en práctica un profundo cambio conceptual: la visión de la biodiversidad como un “banco de conocimientos” y no como una mera reserva de insumos extractivos. Cada especie encarna millones de años de I+D en condiciones de eficiencia, resiliencia y circularidad, exactamente los parámetros que ahora exigen los sistemas industriales sostenibles. Al indexar las funciones biológicas y alinearlas con retos industriales concretos, el Atlas pasa de la metáfora al mecanismo: proporciona un puente procesable entre la complejidad ecológica y el diseño de ingeniería.

Fig. 15 | Mapa visual del atlas de soluciones de la naturaleza.



Para América Latina y el Caribe, herramientas como el Atlas demuestran cómo la riqueza biológica de la región puede apuntalar la participación en el emergente paradigma biodigital, en el que los datos, la computación y la naturaleza se entrecruzan para dar forma a nuevas industrias. Al invertir en infraestructuras de datos abiertos, instituciones científicas y capacidades de IA que conviertan la biodiversidad en canales de innovación, la región se puede reposicionar no como proveedora pasiva de materias primas, sino como productora activa de tecnologías positivas para la naturaleza.

En muchos sentidos, esta perspectiva se alinea con la iniciativa Tercera vía para la Amazonia (A3W), que aboga por una “economía ecológica” vibrante y socialmente inclusiva impulsada por la biodiversidad en la Amazonia, al aprovechar el valor de la naturaleza a través de las tecnologías físicas, digitales y biológicas de la 4ª Revolución Industrial (Nobre y Nobre, 2019).

Obstáculos para la IA simbiótica en ALC

¿Qué falta para que ALC aproveche el valor informativo de la naturaleza para una mejor IA simbiótica, que sustituya a la IA de uso intensivo de recursos? Hay que reconocer que el camino hacia la innovación bioinspirada para la mejora energética de la IA está plagado de desafíos considerables y fallos de coordinación. Uno de los principales obstáculos reside en el estado fragmentario de los datos biológicos y los sistemas taxonómicos. En la actualidad, el vasto repositorio de información de la naturaleza (que abarca millones de organismos) está organizado de forma incoherente en diversas bases de datos, muchas de las cuales están obsoletas o tienen un alcance limitado. Este es también el caso de los centros de investigación entre diferentes naciones de América Latina y el Caribe, lo que plantea un gran desafío para el intercambio y la fusión de datos (según se analiza en la sección 7). Solo una normalización regional de la categorización, descripción y validación de los datos permitirá a los investigadores analizar con eficacia rasgos funcionales, comportamientos adaptativos y eficiencias ecológicas que puedan servir de base a las aplicaciones de la IA, en especial las destinadas a optimizar el consumo energético o la gestión de los recursos medioambientales. Cuanto mayor sea la interoperabilidad, mayores serán las perspectivas de convertir la biodiversidad en oportunidades prácticas para la tecnología y la política.

Esta armonización de los sistemas taxonómicos es un requisito previo fundamental para usar la IA para la biodiversidad. Con el acceso a datos de biodiversidad mejores y más fiables, junto con los avances en potencia informática, la propia IA puede desempeñar una función vital a la hora de identificar y analizar patrones dentro de los ecosistemas y las especies que destacan en procesos concretos, como la eficiencia energética, la distribución de recursos o la regulación térmica.

Sin embargo, hacer realidad esta visión también conlleva desafíos reglamentarios y relacionados con los recursos. Es fundamental establecer marcos que apoyen el acceso responsable y legal a los datos sobre biodiversidad, así como proporcionar recursos a los investigadores para que construyan y empleen herramientas analíticas avanzadas. Sin políticas de apoyo ni financiamiento adecuado, posiblemente los

investigadores tengan dificultades para desarrollar las herramientas necesarias para extraer información práctica de los patrones de la naturaleza. Abordar estas barreras no solo aceleraría la innovación bioinspirada, sino que también situaría a la biodiversidad como piedra angular de los avances tecnológicos sostenibles en IA y energía.

Además, son cruciales los esfuerzos para establecer una red/un ecosistema de nuevas empresas emergentes locales, instituciones de investigación y empresas mundiales abiertas a la innovación en sostenibilidad. Un entorno reglamentario que promueva la innovación responsable también puede atraer asociaciones e inversiones internacionales, acelerando el desarrollo de la región en tecnologías sostenibles. La creación de un ecosistema de apoyo que fomente la iniciativa empresarial en biomímesis e IA sostenible permitirá a ALC capitalizar mejor su biodiversidad única. Al integrar estas iniciativas en las estrategias de desarrollo nacional y regional, y al garantizar marcos reglamentarios inteligentes y políticas proactivas para el desarrollo productivo, la región capta una importante ventana de oportunidades ecológicas en materia de IA.

6.



**Maneras de
avanzar: inversiones
catalizadoras
y la función del
financiamiento
para el desarrollo**

6. Maneras de avanzar: inversiones catalizadoras y la función del financiamiento para el desarrollo

De un modelo rentista a un modelo de desarrollo para el financiamiento de la biodiversidad: perfeccionamiento de las taxonomías

América Latina y el Caribe se encuentran al borde de una formidable oportunidad para redefinir la relación de sus sistemas económicos con la naturaleza, con una visión positiva de la biodiversidad que encierra un gran potencial para configurar nuestro futuro tecnológico y planetario. Pero, para aprovechar plenamente este potencial, es necesaria una transformación radical para que los actores nacionales pasen de ser consumidores estrictamente tecnológicos a proveedores de tecnología, y de ser seguidores de los mercados a convertirse en formadores de mercado. Para ello, se requiere una reorientación de las políticas económicas, industriales, medioambientales y de innovación, pero también instrumentos de financiamiento que valoren la transformación a largo plazo por encima de las ganancias a corto plazo. Esto implica tanto un aumento drástico del financiamiento de la biodiversidad como su integración estratégica con el financiamiento para el desarrollo.

Históricamente, el financiamiento de la biodiversidad ha recibido mucha menos atención y recursos que los destinados al cambio climático, a pesar de tener la misma importancia (y quizá incluso mayor) para la sostenibilidad ecológica en ALC. Durante varias décadas, el mundo ha sido testigo de definiciones, mecanismos de seguimiento y objetivos claros para financiar la lucha contra el cambio climático (desde el objetivo anual de 100 mil millones hasta el recién negociado Nuevo Objetivo

Colectivo Cuantificado [NCQG, por sus siglas en inglés]), mientras que solo hace poco se han negociado los objetivos para el financiamiento de la biodiversidad. Las definiciones y los mecanismos de seguimiento siguen siendo incipientes. Existe una clara tendencia al alza en el gasto en materia de biodiversidad. El objetivo de financiamiento de la biodiversidad acordados en la COP15 busca movilizar al menos USD 200 mil millones anuales de todas las fuentes de financiamiento de la biodiversidad y, en América Latina, el gasto en biodiversidad ha superado con creces el de las demás regiones (se ha multiplicado por seis, pasando de unos USD 500 millones a más de USD 3 mil millones en 2017), lo que refleja con claridad el interés y el liderazgo de la región en esta agenda. No obstante, ALC se encuentra notablemente rezagada en lo que respecta al financiamiento para el desarrollo específico de la biodiversidad y relacionado con esta. Con un promedio de USD 3,2 mil millones anuales en la última década, ALC se sitúa por detrás de África y Asia en cuanto a financiamiento para el desarrollo relacionado con la biodiversidad (incluidos tanto instituciones multilaterales como proveedores bilaterales que son miembros del Comité de Ayuda al Desarrollo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]).

El vínculo entre el financiamiento de la biodiversidad y el financiamiento para el desarrollo sigue sin explorarse ni recalcarse lo suficiente. De hecho, el financiamiento de la biodiversidad no solo debe garantizar que los activos medioambientales se mantengan intactos (ayudando a financiar el mantenimiento de áreas protegidas y la gestión de especies invasoras, por ejemplo), sino que también contribuya a posicionar a ALC como líder mundial en innovación basada en la biodiversidad y desarrollo productivo sostenible. En este sentido, uno de los principales retos radica en los parámetros que actualmente se usan para evaluarlo, que a menudo miden las fuentes de financiamiento (p. ej., financiamiento de las instituciones financieras para el desarrollo) en lugar del rumbo o de los resultados de desarrollo de los fondos (financiamiento a largo plazo con fines de desarrollo). El resultado de esta ambigüedad es que los bancos de desarrollo siguen teniendo dificultades para priorizar, especificar y ampliar las intervenciones que crean valor tanto ecológico como productivo.

Mientras que las taxonomías actuales de financiamiento de la biodiversidad se construyen para medir el financiamiento y etiquetar las categorías de conservación (ya sean áreas protegidas, programas de especies, restauración), no explican lo que ese dinero hace por los medios de vida, las capacidades productivas o la resiliencia económica a largo plazo. Como resultado, las taxonomías actuales son débiles en zonas donde la política necesita más claridad: qué tipo de financiamiento de la biodiversidad es realmente financiamiento para el desarrollo y cómo este influye en la creación de empleos, la capacitación y la modernización de las empresas a lo largo del tiempo. El resultado es que, si queremos que la política cambie, primero debe cambiar la taxonomía. Necesitamos una clasificación que no solo responda cuánto se gasta y en qué hábitat, sino también cómo se desarrollan capacidades, quién se beneficia,

dónde se captura el valor y si el resultado es sostenible sin subsidios interminables.

Para agravar este problema, las instituciones suelen aplicar criterios incoherentes para los marcadores de biodiversidad, lo que enturbia aún más el panorama financiero. En principio, existen pautas claras para los marcadores de biodiversidad (consulte OCDE 2024 para obtener las pautas para la presentación de reportes), pero esos marcadores se pueden aplicar de forma incoherente entre los distintos actores, ya que dichas pautas no son adoptadas por todos los actores del financiamiento para el desarrollo (en especial los que no son miembros del Comité de Ayuda al Desarrollo de la OCDE).

Para abordar estas brechas, se debe cambiar el paradigma en términos de definición, medición y seguimiento del financiamiento de la biodiversidad. Aumentar el volumen así como la calidad del financiamiento para el desarrollo relacionado con la biodiversidad exige disponer de un marco normalizado, transparente y creíble para determinar cómo las inversiones en biodiversidad se alinean con los objetivos de desarrollo, y garantizar que el financiamiento contribuya de forma significativa a los resultados tanto ecológicos como socioeconómicos. En este sentido, es muy necesaria una nueva taxonomía del financiamiento de la biodiversidad que identifique claramente las actividades orientadas al desarrollo productivo o, como mínimo, una nueva familia de etiquetas/códigos para el financiamiento del desarrollo productivo orientado a la biodiversidad (BOPB, por sus siglas en inglés) dentro de las taxonomías existentes. Ambas opciones implican revisar la taxonomía normalizada del financiamiento de la biodiversidad realizando lo siguiente:

- i. Categorizando el financiamiento por sectores y actividades (en lugar de únicamente por objetivos de conservación) con los correspondientes subcódigos (p. ej., biomateriales, agroecología, plataformas de ciencia y capacidad, como biobancos, laboratorios de análisis, etc.).
- ii. Exigiendo campos de resultados para cada subcódigo a fin de garantizar que el financiamiento no se centre únicamente en la conservación, sino que incluya objetivos de empleo, dinámica empresarial, capacidades y generación de valor local.

El empleo de calidad se sitúa en el centro del desarrollo sostenible, no solo en términos de volumen de empleo, sino también de productividad, formalidad, contenido de aprendizaje y resiliencia (Salazar-Xirinachs, Nübler y Kozul-Wright, 2018). Como tal, la calidad del empleo se debe integrar como un criterio de diseño de proyectos ex ante, no como una esperanza ex post. En términos prácticos, la taxonomía propuesta para el financiamiento de la biodiversidad debería exigir una canasta mínima de “empleos de calidad” (p. ej., prima salarial, tasa de formalización, horas de formación/credenciales por equivalente a jornada completa [FTE, por sus siglas en inglés], participación de mujeres/personas indígenas) para cualquier operación etiquetada como financiamiento productivo de la biodiversidad.

Tabla 6 | Defectos y áreas de mejora de las taxonomías para el seguimiento del financiamiento para el desarrollo basado en la biodiversidad.

	Debilidades de las métricas actuales	Posible mejora	Organismos de implementación pertinentes
Definición	Según el tipo de donante y no el resultado (el financiamiento del desarrollo relacionado con la biodiversidad es el financiamiento de la biodiversidad proporcionado por instituciones financieras de desarrollo).	Mecanismos de financiamiento que ayuden a alcanzar un doble objetivo de conservación y desarrollo productivo para mantener los medios de vida locales.	
Motor clave	Métricas y reportes dirigidos por los donantes.	Los gobiernos de ALC y los Bancos Regionales de Desarrollo deben definir las familias de códigos junto con las prioridades para el desarrollo, en consulta con la comunidad local de las provincias biodiversas.	CAF, en coordinación con los ministerios de Finanzas/ Economía/Medio Ambiente de ALC
Objetivo	Medir el financiamiento y lo construido para calcular el financiamiento en lugar del tipo de impacto deseado, los beneficiarios y los resultados en términos de medios de vida y capacidades productivas.	Marco normalizado, transparente y creíble para determinar cómo las inversiones en biodiversidad se alinean con los objetivos de desarrollo mediante la creación de un código o una etiqueta de biodiversidad productiva.	Club Internacional de Instituciones Financieras para el Desarrollo (IDFC)
Clasificación de los códigos	Marcadores amplios que mezclan la conservación con el desarrollo productivo, centrados en etiquetar categorías de conservación (ya sean áreas protegidas, programas de especies, restauración) en lugar del tipo de actividad/industria apoyada.	Crear un código o una etiqueta de familia de desarrollo productivo dentro de las taxonomías de financiamiento de la biodiversidad con criterios claros de elegibilidad; anexo de muestra con proyectos reales; e identificación de prioridades nacionales y regionales a las que corresponder.	Club Internacional de Instituciones Financieras para el Desarrollo (IDFC); CAF; BID
Indicadores de resultados	Los resultados se centran en la conservación, pero no en la medición de los puestos de trabajo, la dinámica empresarial, las capacidades ni la captura de valor local.	Cada proyecto y código de familia se debe vincular a objetivos específicos previstos, como puestos de trabajo, financiamiento de pequeñas y medianas empresas (PYME), valor añadido nacional, capacitación/certificaciones, flujos de distribución de beneficios, productos lanzados.	Instituciones financieras de desarrollo/donantes
Mercado territorial	Los agregados nacionales ocultan la concentración territorial y la posible captura fuera de las provincias biodiversas.	Geocodificación de biomas y provincias mediante la integración del Sistema de Información Geográfica (SIG).	Instituciones financieras de desarrollo/donantes
Ciencia e innovación	Capacidades científicas no rastreadas y apenas reportadas/invisibles en las taxonomías existentes.	Las capacidades científicas deben ser muy visibles en los reportes sobre códigos y resultados, junto con las prioridades definidas por las instituciones científicas nacionales.	Agencias nacionales de ciencia, tecnología e innovación; institutos de biodiversidad

	Debilidades de las métricas actuales	Posible mejora	Organismos de implementación pertinentes
Datos abiertos y accesibilidad	Información dispersa sobre la distribución del financiamiento de la biodiversidad; los reportes no son fáciles de usar.	Portal público de fácil acceso en el que los donantes deben registrar el financiamiento, lo que permite realizar auditorías periódicas.	Equipos de datos de las instituciones de financiamiento del desarrollo (IFD); Club Internacional de Instituciones Financieras para el Desarrollo para el alojamiento de la plataforma
Coordinación regional	Los datos y las definiciones que no son comparables a través de las fronteras y los ecosistemas transfronterizos (Amazonas, Andes, Caribe, Chocó) no se pueden supervisar ni financiar conjuntamente. Categorías taxonómicas basadas en la taxonomía de financiamiento sostenible de la OCDE y la UE.	Norma Regional de Financiamiento de la Biodiversidad para armonizar los códigos de propósito, indicadores de resultados basados en prioridades regionales (empleos de calidad, innovación, captación de tecnología, tasas de forestación, etc.).	Gobiernos de ALC (establecimiento de prioridades), CAF (convocatoria), CEPAL (análisis)

La adopción de este nuevo enfoque no solo especificaría los flujos de financiamiento de la biodiversidad, sino que también ayudaría a los responsables de la toma de decisiones a comprender mejor la interacción entre el financiamiento de la biodiversidad y el desarrollo sostenible, y abordar las brechas de financiamiento. Dada su gran cantidad de miembros y su mandato, el Club Internacional de Instituciones Financieras para el Desarrollo (IDFC, por sus siglas en inglés) es una institución especialmente adecuada para liderar esta revisión taxonómica y establecer una nueva etiqueta de desarrollo productivo orientado a la biodiversidad. Debido a las prioridades de financiamiento de ALC, y a su potencial, la región constituiría una zona ideal para pilotar su uso y desplegar los mecanismos para evaluar si los proyectos están dando resultados.

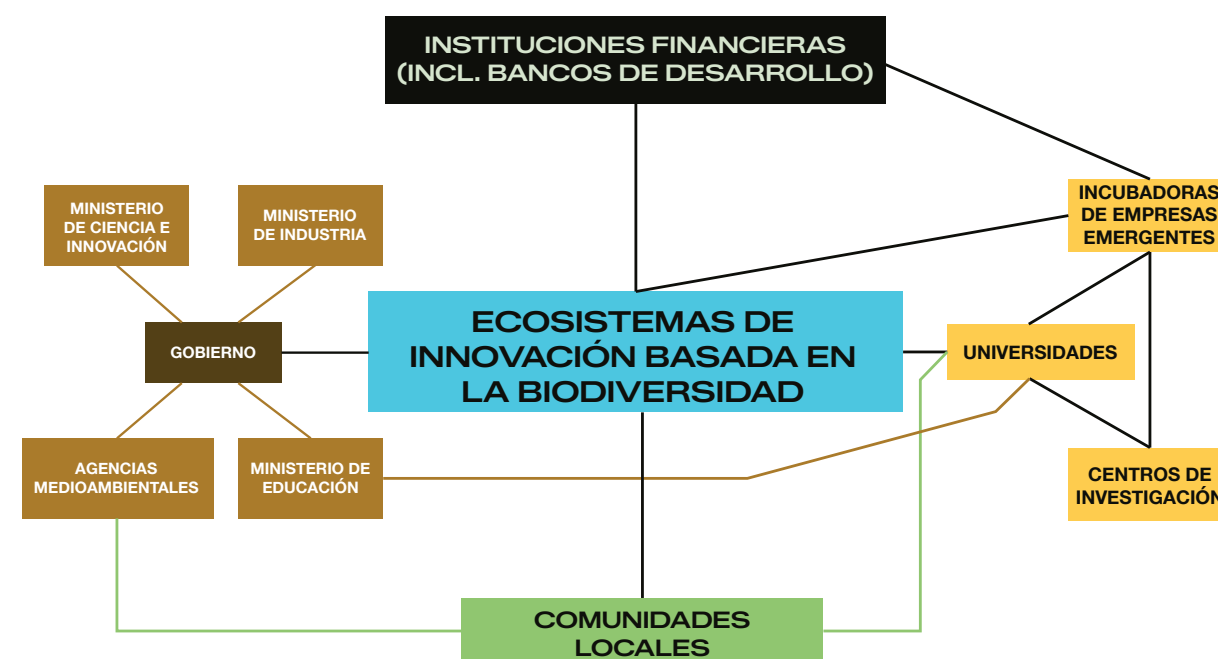
En resumen, las instituciones de financiamiento para el desarrollo desempeñan un papel clave a la hora de abordar las brechas de financiamiento transformador a largo plazo que requieren las innovaciones transformadoras basadas en la biodiversidad. Esto implica tanto un aumento drástico del financiamiento de la biodiversidad como su integración estratégica con el financiamiento para el desarrollo. De hecho, integrar el financiamiento de la biodiversidad en los mecanismos existentes del financiamiento para el desarrollo puede ayudar a abordar el desafío central de cómo los gobiernos pueden hacer más con menos recursos financieros, en especial a la luz de las crecientes presiones sobre el financiamiento público internacional.

La función del financiamiento direccional y paciente en los ecosistemas de innovación

El financiamiento desempeña un papel clave en los ecosistemas de innovación.

En particular, el financiamiento público es fundamental para estimular el desarrollo de nuevas tecnologías en su fase inicial, en especial cuando los beneficios de la innovación solo pueden esperarse en un futuro lejano (Mazzucato, 2013, 2016; Semieniuk y Mazzucato, 2019). Sin embargo, en ALC, el financiamiento público para la I+D basada en la biodiversidad no ha sido óptimo, y se prevé que afronte fuertes limitaciones debido a las presiones fiscales en muchos de sus países. Al mismo tiempo, el sector bancario nacional y el capital privado han mostrado una actitud conservadora frente al riesgo y, a menudo, no ofrecen las condiciones que permitan un capital paciente y a largo plazo para el desarrollo de tecnologías en su fase inicial, en especial cuando los beneficios de la innovación solo pueden esperarse en un futuro lejano. De hecho, al derivar de sistemas biológicos, procesos ecológicos y conocimientos basados en la naturaleza, la innovación basada en la biodiversidad suele requerir ciclos de innovación largos que, a menudo, se prolongan más de una década desde la investigación hasta la comercialización, y una fuerte dependencia de la infraestructura pública de investigación y la cooperación entre varias partes interesadas.

Fig. 16 | Cooperación e interacción de las distintas partes interesadas en un ecosistema de innovación basada en la biodiversidad.



Fuente: Elaboración propia

En cambio, los bancos de desarrollo públicos pueden desempeñar un papel clave por diversas razones. En primer lugar, están diseñados para proporcionar “capital paciente” (Rodrik, 2014; Mazzucato y Penna, 2016). Sus instrumentos financieros, préstamos a largo plazo, líneas de crédito en condiciones favorables o asistencia técnica, pueden absorber el desfase entre la inversión en innovación y la rentabilidad.

Además, su mandato político les permite orientar las finanzas hacia resultados deseables a nivel social, encarnando lo que Mazzucato (2021) denomina finanzas públicas “orientadas a la misión”. Esta orientación es fundamental para garantizar que la bioinnovación complemente y no sustituya a la conservación, se ajuste a los principios de acceso y reparto de beneficios, y refuerce la capacidad científica local. Estas ideas se hacen eco del llamamiento de José Antonio Ocampo (2019) para que los bancos de desarrollo no actúen como financiadores pasivos, sino como artífices catalíticos de sistemas; es decir, instituciones capaces de coordinar la inversión a largo plazo, la modernización industrial y las transiciones tecnológicas.

En segundo lugar, están bien adaptados a nivel institucional para abordar las desventajas de quienes actúan primero y atraer seguidores en la innovación basada en la biodiversidad (Lebdioui, 2019, 2022). Entrar en un nuevo mercado o ámbito tecnológico, como los materiales bioinspirados o las plataformas de datos digitales sobre biodiversidad, conlleva una gran incertidumbre, un largo proceso de prueba y error, y costos fijos elevados en I+D. Sin éxitos visibles, los inversores privados y las empresas se mantienen al margen. Los bancos de desarrollo pueden resolver este fallo de coordinación actuando ellos mismos como primeros impulsores. A través del financiamiento combinado y los proyectos demostrativos, pueden generar la prueba de concepto inicial que reduce el riesgo del sector para los actores que ingresen posteriormente (Hausmann y Rodrik, 2003). Esta función de “secuenciación catalítica”, en la que la inversión pública moldea las expectativas y reduce los obstáculos de entrada, es una de las ventajas comparativas de las instituciones de financiamiento para el desarrollo (Griffith-Jones y Ocampo, 2018).

En tercer lugar, pueden proporcionar instrumentos no reembolsables o en condiciones favorables como inversión en bienes públicos, resolviendo así los fallos del mercado. Según se señala en las secciones 4 y 6, la principal limitación del panorama de la innovación basada en la biodiversidad en ALC se relaciona con las inversiones en infraestructuras de investigación mediante la modernización de laboratorios, centros de datos y estaciones científicas; en especial, en centros de biodiversidad como la Amazonia y los Andes; y el financiamiento de programas de capacitación específicos para dotar a los investigadores y técnicos de competencias interdisciplinarias en la intersección de la biología, la ingeniería, el diseño y la química. Estas iniciativas no solo requieren importantes recursos financieros, sino que no se espera que sean rentables de forma directa. De hecho, los conocimientos sobre biodiversidad y la infraestructura que los sustenta (p. ej., bancos de genes, sistemas de datos, normas y capacitación) son bienes casi públicos. Los beneficios sociales superan a los privados, lo que justifica un financiamiento no reembolsable o en condiciones muy favorables. Los presupuestos nacionales de ALC rara vez tienen la envergadura o la estabilidad necesarias para financiar estos sistemas de forma sostenible. Los bancos de desarrollo pueden abordar esta brecha mediante subvenciones de cooperación técnica y financiamiento en condiciones favorables

que internalicen el valor público a largo plazo de la cooperación científica. Los proyectos financiados por CAF en la región amazónica, por ejemplo, ya combinan préstamos y subvenciones para reforzar la capacidad científica basada en la biodiversidad (p. ej., Museu da Amazonas). Por ejemplo, si se amplía esta lógica para establecer laboratorios regionales de bioprospección, plataformas de datos sobre biodiversidad o fondos de bioinnovación, se crearían activos compartidos que sustentarían las estrategias nacionales. Tales inversiones están muy en consonancia con el mandato de los bancos de desarrollo, que tienen la tarea de abordar las deficiencias del mercado y los fallos de coordinación, que son precisamente los obstáculos que dificultan la innovación basada en la biodiversidad.

En cuarto lugar, los sistemas de biodiversidad de América Latina son intrínsecamente transfronterizos (p. ej., la Amazonia, los Andes, Mesoamérica y el Caribe). Sin embargo, la mayor parte del financiamiento de la ciencia y la innovación sigue estando compartimentada a nivel nacional, lo que deriva en duplicaciones e ineficiencias. Los bancos de desarrollo, en especial los regionales como CAF, pueden corregir esta situación financiando bienes públicos regionales (Estevadeordal et al., 2004). Pueden reunir recursos de varios países en instalaciones de investigación compartidas, marcos reglamentarios armonizados, subvenciones de financiamiento de la movilidad para miembros de la comunidad investigadora y normas comunes de acceso y reparto de beneficios.

En resumen, dado que los mercados financieros convencionales, dominados por horizontes a corto plazo e inversores con aversión al riesgo, están mal equipados a nivel estructural para apoyar esta transformación; los bancos de desarrollo, y en particular los bancos regionales de desarrollo como CAF, están en una posición única para actuar como inversores catalizadores, precisamente porque sus mandatos combinan la direccionalidad del desarrollo, el horizonte a largo plazo, el alcance transfronterizo y la tolerancia a la incertidumbre en fases iniciales. Además, su carácter dual como banco de desarrollo regional e institución de propiedad latinoamericana le confiere legitimidad y poder de convocatoria. Sus miembros transfronterizos, su capacidad técnica y su creciente cartera de proyectos sobre clima y biodiversidad le permiten movilizar conocimientos y financiamiento a escalas inalcanzables para la mayoría de los gobiernos nacionales. El reciente marco estratégico de CAF (CAF, 2022) ya sitúa la bioeconomía y la industrialización ecológica como pilares de su actuación. Ampliar esto para incluir explícitamente los ecosistemas de innovación basada en la biodiversidad sería una progresión natural. Además, la credibilidad de la reputación de los bancos regionales puede atraer coinversiones de socios globales (Fondo para el Medio Ambiente Mundial [FMAM], Fondo Verde para el Clima, Unión Europea [UE], etc.) al tiempo que garantiza el liderazgo regional, como ya se ha visto con la reciente asociación de CAF con el Grupo Árabe de Coordinación de coinversiones en América Latina y el Caribe. Por lo tanto, los bancos de desarrollo, y en particular CAF, son los artífices naturales del ecosistema de innovación basada en la biodiversidad de la región.

Acercar la voz de la ciencia a la política y el financiamiento para el desarrollo mediante consejos científicos asesores

Más allá de su función catalizadora de la inversión, el papel de los bancos de desarrollo en la estructuración de la cooperación científica merece un mayor énfasis. Los bancos de desarrollo pueden ayudar a reducir la brecha entre investigación e inversión, pero no pueden desempeñar su función de financiadoras pasivas a artífices de los bienes comunes científicos que sustentan ecosistemas regionales de innovación basada en la biodiversidad si no interactúan de forma estrecha ni implementan circuitos de retroalimentación con las comunidades científicas locales, nacionales y regionales. Como subrayan Ana Stewart-Ibarra y sus colaboradores, la cooperación regional en materia de biodiversidad y clima en América Latina requiere alinear la diplomacia científica, el financiamiento y los instrumentos políticos, lo que exige una mayor integración entre la ciencia y la política (Mastrangelo et al, 2024; Ehlers, da Silva y Stewart-Ibarra, 2021). Según esa perspectiva, la voz de las instituciones científicas de ALC es fundamental, ya que reúnen décadas de experiencia y conocimiento de las oportunidades y los retos específicos de los ecosistemas de innovación local.



Un buen ejemplo de ello es la Declaración de Chicó-Bogotá para una Biodiversidad Positiva en América Latina y el Caribe, lanzada en 2024 bajo el liderazgo de CAF. Esta Declaración representa un compromiso histórico para cerrar la brecha de larga data entre la ciencia, la política y las finanzas y marca un punto de inflexión en la integración de la ciencia en la formulación de políticas en América Latina y el Caribe.

La Declaración, que reúne a científicos, instituciones públicas, representantes indígenas y financiadores del desarrollo en torno a una agenda común para pasar del diagnóstico de la pérdida de biodiversidad a la integración directa de los conocimientos científicos en los procesos de toma de decisiones e inversión, hace hincapié en los llamamientos a la cooperación regional en materia de investigación y nuevos mecanismos para incorporar pruebas, datos e indicadores ecológicos al ciclo político y la programación financiera de los bancos de desarrollo y los gobiernos. Esto formalizó un modelo en el que las instituciones científicas (universidades, institutos de biodiversidad y redes de conocimiento) se convierten en socios reconocidos en la gobernanza del capital natural y el diseño de políticas de bioinnovación. La adopción de este marco por parte de CAF supone la primera vez que un banco de desarrollo regional del Sur Global sitúa explícitamente la ciencia como motor de su estrategia de inversión en biodiversidad.

Fig. 17 | Modelos de participación científica en las instituciones responsables de la toma de decisiones.

Diferentes modelos de consejos científicos asesores



Fuente: Elaboración propia

Esto abre la puerta a reformas prácticas para institucionalizar aún más el asesoramiento científico más cerca de la toma de decisiones. En este sentido, los consejos científicos asesores pueden ofrecer diversas ventajas. Sin embargo, su eficacia puede variar, y dichos consejos pueden adoptar diferentes formas y

formatos. Pruebas recientes (consulte Morales 2021) demuestran que los órganos asesores que hacen oír la voz de la ciencia en la formulación de políticas pueden ser independientes, o estar dirigidos o ser propiedad del órgano decisorio (ya sea un gobierno, un banco de desarrollo o una organización privada). Los consejos asesores independientes funcionarían sin el respaldo financiero del órgano decisorio. Alternativamente, pueden apoyarse en gran medida en el financiamiento del órgano con poder de decisión, principalmente a través de contratos y solicitud de asesoramiento (consejos científicos asesores habilitados). Los órganos decisorios también pueden tener más control sobre esos consejos científicos asesores si los acogen (parcial o exclusivamente) o los financian en su totalidad.

En el contexto de la innovación basada en la biodiversidad, las interacciones entre la ciencia y la toma de decisiones pueden organizarse siguiendo cualquiera de esos modelos, según el tipo de institución decisoria y el objetivo general (consulte la figura 17).

A medida que las instituciones decisorias (gobiernos, pero también instituciones financieras para el desarrollo como CAF) consideran crear sus propios consejos científicos asesores, es fundamental aprovechar las lecciones existentes para establecer consejos científicos asesores eficaces que promuevan la innovación basada en la biodiversidad en América Latina y el Caribe (ALC). Las cinco lecciones clave identificadas en Morales (2021) a partir de experiencias mundiales son las siguientes:

- Flexibilidad y adaptabilidad de los sistemas de asesoramiento científico para responder a los nuevos desafíos y oportunidades. Esta flexibilidad es fundamental para abordar la naturaleza dinámica y compleja de los problemas de biodiversidad en ALC.
- Un puesto específico de asesor científico principal dentro de la institución decisoria (ya sea un gobierno o un organismo de desarrollo) que actúe como punto de contacto con el consejo científico, mejore la integración de los datos científicos en la formulación de políticas y asuma el liderazgo para garantizar que se da prioridad a las consideraciones sobre biodiversidad en las estrategias de innovación.
- La autonomía de los consejos asesores para que funcionen con independencia de las presiones políticas permite formular recomendaciones imparciales y basadas en pruebas, lo que es vital para la credibilidad y eficacia de las decisiones.
- Son fundamentales la confianza pública y la transparencia en los procesos asesores y el fomento de la confianza pública en la ciencia. Esto es especialmente importante en ALC, donde el compromiso público está interrelacionado con los debates sobre biodiversidad.

- Equilibrio entre representatividad y experiencia dentro de los consejos asesores para que haya diversas partes interesadas y estrategias de innovación amplias e inclusivas basadas en la biodiversidad.

La implementación de estas lecciones puede fortalecer los futuros consejos científicos asesores para la innovación basada en la biodiversidad en ALC, y son particularmente críticas si se tiene en cuenta que las instituciones científicas tienen mayor conocimiento sobre el tipo de fallos de coordinación que dificultan la ampliación de las actividades de investigación y desarrollo, que a menudo evolucionan y cambian con el tiempo, lo que exige un seguimiento, un diálogo y un intercambio de información constantes.

En conclusión, si bien la biodiversidad representa una inmensa oportunidad para impulsar el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe, aprovechar esta oportunidad requiere ir más allá de los modelos tradicionales de conservación y adoptar agendas transformacionales para proteger el valor ecológico de la biodiversidad y aprovechar su valor de innovación. La implementación de esta visión desarrollista de la biodiversidad exigirá aumentar y reorientar las inversiones y el financiamiento de la biodiversidad, pero también una mayor coordinación entre una serie de partes interesadas, como los sectores público y privado, las comunidades científicas, las comunidades locales y las instituciones financieras. Históricamente, esta coordinación no ha sido tarea fácil en ALC, pero de ella depende en gran medida la capacidad de la región para saltar a la frontera del desarrollo y dar forma al siglo XXI. En la siguiente sección, se analiza la cuestión de la coordinación para la cooperación científica en la región, a nivel nacional, provincial, regional e internacional.

7.



**Cooperación
científica a nivel
subregional,
regional e
internacional**

7. Cooperación científica a nivel subregional, regional e internacional

Situar a las instituciones científicas en el núcleo de los ecosistemas de innovación basada en la biodiversidad: de la creación de capacidad nacional a la regional

El cambio estratégico hacia la innovación basada en la biodiversidad en América Latina y el Caribe no se puede lograr solo con capital financiero. Los bancos de desarrollo pueden actuar como inversores catalizadores, pero su impacto seguirá siendo limitado a menos que vaya acompañado de la correspondiente inversión en conocimiento, cooperación y cooperación científica en toda ALC. La cooperación científica, tanto dentro como fuera de las fronteras nacionales, no es un accesorio de la agenda de innovación basada en la biodiversidad, sino su infraestructura central.

La idea de ecosistemas de innovación en América Latina y el Caribe ha sido explorada ampliamente por Gabriela Dutrénit (2014) y Jeffrey Orozco (2020), quienes enfatizan la necesidad de redes localizadas de colaboración entre universidades, empresas y agencias gubernamentales para sostener el aprendizaje y la innovación. El desarrollo de la innovación basada en la biodiversidad dependerá

del fortalecimiento de estos sistemas territoriales de innovación, en especial en las provincias biodiversas, donde la densidad institucional y la infraestructura científica siguen siendo débiles (consulte la sección 7.2). Su trabajo subraya que los ecosistemas eficaces no son espontáneos, sino que requieren políticas deliberadas de coordinación, creación de confianza y difusión de conocimientos.

Afortunadamente, la región de ALC cuenta con una amplia lista de institutos públicos de biodiversidad de renombre, con mandatos diversos y financiamiento y capacidad desiguales entre países. En general, tienden a generar, administrar y movilizar conocimientos sobre la biodiversidad a través de la recopilación, el seguimiento y la investigación aplicada, con el fin de fundamentar las políticas, conservar los ecosistemas y, cada vez más, catalizar la innovación biológica y los medios de vida locales. Sus funciones abarcan la investigación marina y amazónica, los sistemas nacionales de datos y los jardines botánicos que tienden puentes entre ciencia y sociedad. El más antiguo es el Instituto de Investigaciones del Jardín Botánico de Río de Janeiro (JBRJ, por sus siglas en portugués) de Brasil, fundado en 1808, seguido del Museo de Historia Natural de Jamaica (1879) y el Instituto de Botánica Darwinion de Argentina (1911).

Sin embargo, en la mayoría de los países de ALC, los institutos de biodiversidad fueron concebidos como entidades de conservación e investigación, y no todos fueron capacitados como agentes de innovación. Sus mandatos de catalogación de especies, gestión de recopilaciones y realización de evaluaciones ecológicas son indispensables, pero insuficientes para una innovación de impacto a gran escala. Para convertirse en motores de una economía basada en la biodiversidad, deben evolucionar hasta convertirse en intermediarios de la innovación: conectores entre la ciencia, el espíritu empresarial y el desarrollo territorial. Por lo tanto, la cuestión principal es cómo potenciarlos como agentes activos de un ecosistema nacional de innovación en lugar de ceñirse exclusivamente a un mandato de conservación.

La región cuenta con varios ejemplos de asociaciones fructíferas que ofrecieron la oportunidad de realizar experimentos e innovaciones conjuntas apoyándose en el material biológico que poseen esos institutos, con el fin de proporcionar un efecto demostrativo. Por ejemplo, el Centro Iwokrama de Guyana muestra cómo las zonas protegidas pueden servir de plataformas para experimentar en silvicultura sostenible, ecoturismo y bioempresas comunitarias (Centro Iwokrama, 2022). Del mismo modo, aunque muchos institutos ya gestionan observatorios de biodiversidad y sistemas de datos (p. ej., el INBio de Costa Rica y la más reciente iniciativa de mapeos de ADN, Conabio de México, o el INABIO de Ecuador), estos conjuntos de datos pueden convertirse en la columna vertebral de la innovación biodigital si se conectan con herramientas de IA (consulte la sección 5 sobre IA biointeligente).

Tabla 7 | Lista de los principales institutos nacionales de biodiversidad en América Latina y el Caribe.

Nombre		Creación	
Instituto de Botánica Darwinion	Argentina	2010	Investigación y taxonomía de la flora sudamericana; mantenimiento de uno de los mayores herbarios del continente; coordinación de las bases de datos nacionales de plantas y del proyecto Flora del Cono Sur.
Instituto de Investigación Ambiental (ERI, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Belice	Belice	2010	Investigación aplicada, educación y capacitación para la gestión sostenible de los recursos naturales de Belice; alineación con las políticas nacionales.
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)	Brasil	1952	Biología tropical e investigación amazónica; aportar ciencia a las políticas públicas; las prioridades incluyen la biodiversidad, la dinámica medioambiental, la salud socioambiental y la innovación.
Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro	Brasil	1808	Promover/hacer/difundir ciencia sobre la flora para su conservación y valoración; integrar la ciencia, la educación, la cultura y la naturaleza; gestionar las colecciones y la participación del público.
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade	Brasil	2007	Gestionar las áreas protegidas federales; proteger el patrimonio natural con las personas; apoyar a las comunidades tradicionales, investigación/gestión del conocimiento, educación medioambiental.
Instituto de Ecología y Biodiversidad	Chile	2006	Investigación de frontera sobre biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas; capacitación de nuevos científicos; pruebas para la conservación y la gestión sostenible; interfaz ciencia-política.
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt	Colombia	1993	Brazo nacional de biodiversidad bajo MinAmbiente: generar e intermediar datos/conocimientos para informar las políticas y decisiones sobre la biodiversidad de Colombia (monitoreo, evaluaciones, recolecciones, apoyo a la toma de decisiones).
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR)	Colombia	1994	Investigación básica/aplicada sobre ecosistemas costeros y marinos para apoyar la política, la gestión sostenible, la restauración y la toma de decisiones; apoyo técnico al Sistema Nacional Ambiental (SINA).
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI	Colombia	1993-1995	Estudios científicos de alto nivel sobre la realidad biológica, social y ecológica de la Amazonia; difusión de conocimientos para el desarrollo regional sostenible.
Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico	Colombia	1991	Investigación e información para decisiones/políticas sobre el Chocó Biogeográfico; coproducción comunitaria de conocimiento; identidad cultural y paz territorial.
Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio)	Costa Rica	1989 (hasta 2021)	Realiza inventarios e investigaciones sobre biodiversidad; pionero en bioprospección y datos digitales sobre biodiversidad; desde 2015 sus colecciones se encuentran en el Museo Nacional de Costa Rica, continúa siendo referencia de conocimiento para la región.
Instituto de Ecología y Sistemática (IES)	Cuba	1986	I+D y servicios científico-técnicos en ecología y sistemática; datos/evaluaciones de biodiversidad para apoyar el uso sostenible y la supervisión; formación de posgrado (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente [CITMA]).
Jardín Botánico Nacional	República Dominicana	1976	Estudio, conservación y gestión de la flora dominicana; jardín botánico nacional creado por la Ley 456/1976; colecciones, educación, servicios públicos.
Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO)	Ecuador	2014	Planificar, coordinar y ejecutar actividades de I+D e innovación en materia de biodiversidad para reforzar la conservación y el uso sostenible; gestionar colecciones/servicios de conocimientos.

Nombre		Creación	
Centro Internacional Iwokrama	Guyana	1996	Promover la conservación y el uso sostenible y equitativo de la selva tropical para obtener beneficios ecológicos, económicos y sociales a través de la investigación, la capacitación y la tecnología.
Museo de Historia Natural de Jamaica (Instituto de Jamaica)	Jamaica	1879	Preservar, estudiar y mostrar la biodiversidad de Jamaica; mantener colecciones nacionales; investigación, educación y compromiso público para la conservación.
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)	México	1992	Institución “puente” para promover/coordinar el conocimiento de la biodiversidad y su conservación y uso sostenible; apoyo a la toma de decisiones para la sociedad y los responsables políticos.
Instituto de Ecología (INECOL)	México	1975	Generar, transferir y socializar conocimiento de frontera sobre ecología y diversidad biológica para la conservación, la restauración, la gestión sustentable y alternativas productivas.
Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales	Panamá	1966	Avanzar en el conocimiento del pasado, presente y futuro de la biodiversidad tropical; gestionar plataformas de investigación a largo plazo (p. ej., Barro Colorado Island [BCI]), capacitación y divulgación.
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana	Perú	1979-1981	Generar y proporcionar conocimientos sobre la diversidad biológica y sociocultural amazónica; integrar la ciencia, la tecnología y los conocimientos ancestrales para el desarrollo sostenible.
Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable	Uruguay	1927	Instituto público de ciencias de la vida que genera conocimientos originales en biología (neurociencias, microbiología, genética, ciencias ambientales) centrados en la resolución de problemas nacionales.

Sin embargo, para que estas iniciativas empoderen a los institutos públicos de biodiversidad como potencias no solo científicas sino también de innovación, es útil explorar mecanismos de colaboración que van más allá de la escala nacional. En las dos últimas décadas, la mayoría de los países de América Latina y el Caribe (ALC) han creado sistemas nacionales de innovación y agencias dedicadas a la ciencia, tecnología e innovación (CTI). No obstante, gran parte de esta arquitectura sigue siendo sectorial, centrada en las metrópolis y apenas conectada con los activos de biodiversidad que constituyen el verdadero capital estratégico de la región (Katz, 2000; Dutrénit, 2014). El financiamiento sigue gravitando hacia las industrias convencionales o los paradigmas importados, mientras que los ecosistemas que importan para una economía basada en la biodiversidad pueden seguir siendo considerados secundarios en las estrategias nacionales de innovación.

Por lo tanto, una estrategia de innovación basada en la biodiversidad debe ser territorial y estar conectada en red, y no ser meramente nacional, por tres razones principales. En primer lugar, la escala significativa es la biogeográfica y no la administrativa, porque la biodiversidad y los procesos ecológicos ignoran las fronteras: la Amazonia es un único sistema ecológico fragmentado en nueve jurisdicciones; los arrecifes de coral del Caribe son bienes comunes ecológicos y

económicos interconectados; y los páramos andinos regulan sistemas hídricos a través de varios países, razón por la que los esfuerzos nacionales fragmentados de investigación no pueden captar ni gestionar eficazmente estas dinámicas.

En segundo lugar, la cooperación científica regional es necesaria para alcanzar la masa crítica y la especialización. Aunque algunos cuentan con amplia experiencia y capacidad pionera, muchos de los institutos nacionales de ALC son pequeños y cuentan con un financiamiento limitado; por lo que, poniendo en común biorepositorios, plataformas genómicas y capacitación, la región puede superar la trampa de la escala pequeña que limita la bioinnovación (Estevadeordal, Frantz y Nguyen, 2004).

La cooperación científica regional no es nueva en la región, ya que los países de ALC tienen una larga tradición de cooperación científica bilateral, regional y mundial como herramienta esencial para fortalecer y complementar las capacidades nacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Sin embargo, a pesar de las numerosas iniciativas multilaterales, la región no ha aprovechado plenamente las oportunidades y los beneficios adicionales que ofrece la colaboración científica para alcanzar objetivos de desarrollo comunes (Soler, 2014). La multiplicidad de foros a nivel político, los problemas presupuestarios, la inestabilidad política y la brecha entre ciencia y política han limitado la eficacia y relevancia de las iniciativas científicas multilaterales sobre decisiones políticas y sociales más amplias (ibid.).

Varias iniciativas son de especial relevancia en esa perspectiva, ya que sustentan el tipo de cooperación necesaria para los ecosistemas de innovación basada en la biodiversidad: el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA). Curiosamente, tanto el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) como el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) funcionaron inicialmente como iniciativas norte-sur impulsadas institucional y financieramente por los países del norte, pero evolucionaron hacia redes de cooperación sur-sur más horizontales (Soler, 2014); mientras, la OTCA comenzó como una iniciativa de cooperación regional para armonizar indicadores, datos y diálogos políticos entre los Estados amazónicos, un requisito previo para las agendas compartidas de seguimiento, restauración e innovación.

El CYTED, que estableció redes y consorcios temáticos de larga duración en biotecnología, bioinsumos y bioeconomía que ilustran la capacitación y la resolución conjuntas de problemas, fue creado por un grupo de investigadores y administradores de España y América Latina que, a principios de la década de 1980, analizaron la posibilidad de crear una estructura formal para fomentar la cooperación científica entre España, Portugal y América Latina (ibid.). Sin embargo, también creó un nuevo modelo de cooperación sur-sur entre países latinoamericanos con

poca experiencia en el intercambio científico entre ellos (Sebastian, 1992). En sus primeros 30 años, se habían financiado más de 441 redes temáticas de investigación y 680 proyectos de innovación con la participación de más de 8.400 grupos de investigación de todos los países iberoamericanos, con la participación directa de más de 28.800 científicos (Corbi, 2012).

Por su parte, en su creación en 1992, el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) también se consideró un instrumento de la administración estadounidense para promover la cooperación científica como una forma de mantener el liderazgo de los Estados Unidos en temas asociados al impacto económico y social que trae consigo el cambio ambiental, por lo que la Fundación Nacional de las Ciencias (NSF, por sus siglas en inglés) promovió la creación de una serie de institutos regionales en América, Europa, África y Asia-Pacífico (NSF, 1994; Soler, 2014). Sin embargo, a medida que el IAI fue madurando, y que los entornos políticos, económicos y científicos cambiaron en los países de las organizaciones miembro del norte y del sur, una característica que surgió fue el fortalecimiento de la cooperación sur-sur (Soler, 2014). Con el tiempo, la cantidad de investigadores principales del sur creció, al ritmo de la mejora de la capacidad de investigación regional de América Latina, y la mayoría de las propuestas presentadas y financiadas por el IAI pasaron de los Estados Unidos y Canadá (veintiuna de las veintiséis subvenciones iniciales) a Argentina, Brasil, México y otros países del sur (ibid.).

Por lo tanto, estas plataformas regionales existentes proporcionan elementos básicos pero, a pesar de sus mandatos, su influencia podría ser aún mayor con más recursos y coordinación. De esta forma, para la agenda de innovación basada en la biodiversidad de ALC, la conclusión es continuar construyendo instrumentos científicos regionales que estén alineados con las prioridades de los sistemas productivos, fortaleciendo las instituciones que ya existen y que pueden ser escaladas. Por ejemplo, la red basada en tratados del IAI muestra cómo institucionalizar los vínculos entre ciencia y política en los distintos países; mientras que el mapeo de ALCUE-NET/BiodivERsA y los nodos anclados en GBIF (p. ej., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], SiB Colombia) demuestran cómo las normas de datos compartidas desbloquean la colaboración. De cara al futuro, las prioridades críticas son ampliar las convocatorias regionales de financiamiento de la investigación orientada a la innovación basada en la biodiversidad, aumentar las inversiones en programas de infraestructura compartida (como biobancos regionales o instalaciones de secuenciación genética) y continuar con los esfuerzos para armonizar los datos sobre biodiversidad junto con taxonomías y normas de datos comunes. Y lo que es más importante, la cooperación regional debe evitar la duplicación: en lugar de que cada país construya un conjunto completo de capacidades, se debe fomentar la especialización y la complementariedad. Mientras que un país podría liderar la genómica y otros la ética

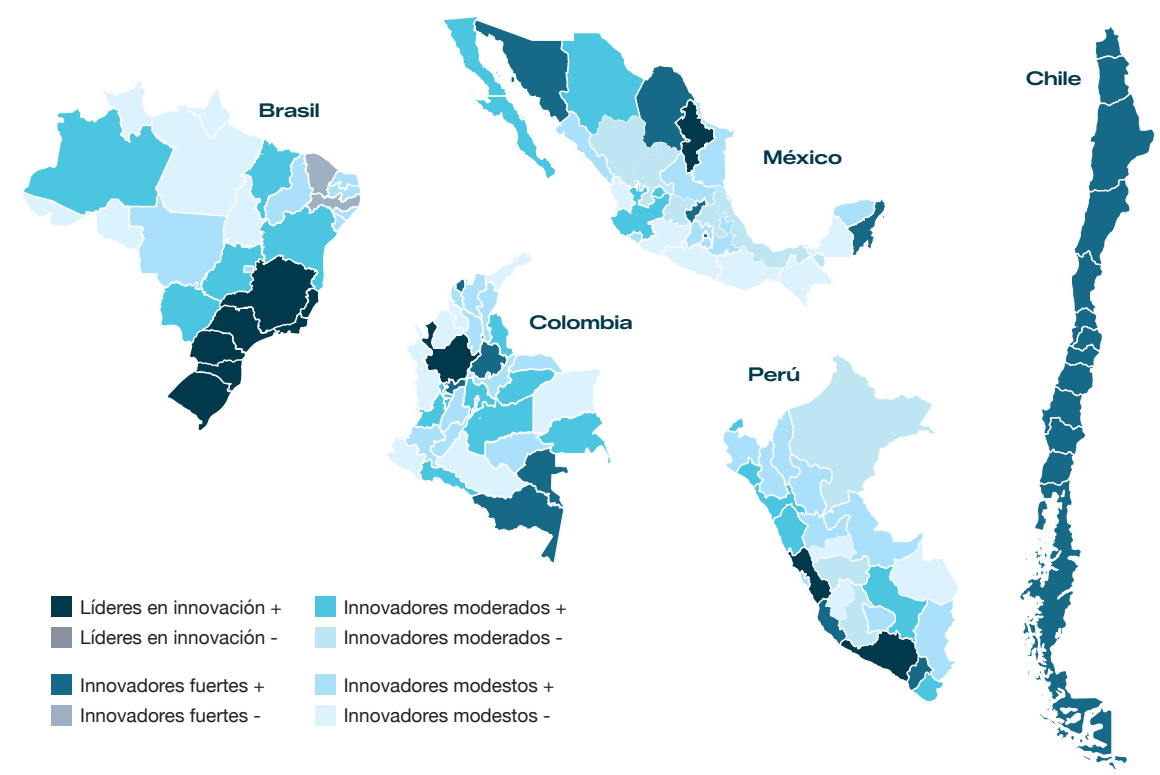
de la bioprospección o la biotecnología marina, cada uno contribuiría a una red de innovación regional compartida.

Por último, a escala regional, a pesar de la existencia de iniciativas de gran impacto, ALC carece del equivalente de programas como Horizonte Europa o del financiamiento del Consejo Europeo de Investigación, que permite dedicar recursos a cuestiones regionales a escala. Inspirándose en el ecosistema de investigación de la UE, algunas de esas prioridades pueden organizarse dentro de una versión para ALC del programa Horizonte de la UE o de un programa de movilidad para la innovación basada en la biodiversidad al estilo de Erasmus/Marie Curie, que haría circular a investigadores e ingenieros entre institutos (como el INABIO, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [SINCHI], el INPA, la CONABIO, etc.). Para llevar a cabo este cambio es necesaria una clara señal política: los institutos de biodiversidad no son solo custodios de la naturaleza, sino protagonistas del desarrollo. Naturalmente, esas iniciativas requieren recursos financieros, razón por la cual los bancos regionales de desarrollo aparecen, una vez más, como actores privilegiados para dotar a esas redes de colaboración, en el marco de su programa de cooperación técnica, dado que la ciencia y la innovación pueden no ser rentables por sí solas, pero tienen grandes repercusiones socioeconómicas.

Disparidades subregionales y desafío territorial para las zonas biodiversas de ALC

La paradoja del panorama de la bioinnovación en ALC es que las zonas más ricas en materia de biodiversidad suelen ser las más pobres en términos de recursos de capacidad científica y tecnológica. Las provincias de la Amazonia, el Caribe y el Pacífico concentran la riqueza biológica, pero tienen la menor densidad de laboratorios, universidades de investigación y financiamiento para la innovación (consulte la figura 18). Esta desigualdad territorial refleja una dinámica más amplia de centro-periferia dentro de los países, que ha sido una de las principales preocupaciones de los economistas estructuralistas de América Latina desde la década de 1950.

Fig. 18 | Índice de competitividad en innovación subregional en las principales economías de ALC.



Fuente: Índice Subnacional de Competitividad en Innovación de América Latina (2023)

Por un lado, esta situación es de esperar, ya que las políticas científicas nacionales suelen estar impulsadas por los centros metropolitanos (p ej., São Paulo, Bogotá, Ciudad de México o Santiago), donde se concentran las infraestructuras y el talento investigador. Mientras tanto, las zonas biodiversas, en especial las que se benefician de grandes esfuerzos de conservación, tienden a presentar menos infraestructuras, centros urbanos limitados y tamaños de población más pequeños.

Sin embargo, hay dos motivos de preocupación. La primera es que se está llevando a cabo una actividad económica, a menudo perjudicial para el medioambiente, y el acceso limitado a la capacidad de innovación encierra a las poblaciones locales hacia formas de mantener sus medios de vida que a menudo pueden ir en detrimento de la preservación de la biodiversidad (tala de árboles, monocultivos, como demuestran las alarmantes tasas de deforestación en la región amazónica). En ese contexto, la ampliación de los servicios de innovación basada en la biodiversidad con oportunidades de creación de empleo local ofrece un valioso modelo económico alternativo.

En segundo lugar, el resultado de la concentración de la capacidad científica e innovación fuera de las provincias biodiversas es un patrón de “extractivismo cognitivo” (consulte Klein 2013): las muestras biológicas y los conocimientos tradicionales fluyen de las regiones periféricas a los laboratorios centrales, mientras

que las actividades de valor añadido y las patentes permanecen concentradas en otros lugares. A menos que esta geografía cambie, una economía basada en la biodiversidad corre el riesgo de reproducir la misma división colonial del trabajo que pretende superar. En Brasil, la bioprospección y la química de productos naturales se consolidaron en Río y São Paulo, incluso mientras se realizan muestreos aguas arriba en los estados amazónicos (Silva, 2022). El mapeo de patentes confirma la existencia de densas agrupaciones de innovación en el sureste (Pamplona, 2025; Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI], 2023). México muestra una capacidad de patentes también concentrada en los centros (Briones, 2025), mientras que en Colombia las capacidades son mucho más débiles en la Amazonía que en Bogotá (Rao et al., 2023). Abordar estas disparidades no es solo una cuestión de equidad, sino de eficiencia: los sistemas de innovación que excluyen a los territorios de mayor potencial biológico son, por definición, ineficaces y no aprovechan todo su potencial.

Para abordar esta brecha, es necesario descentralizar territorialmente la capacidad científica. Tal como se subraya en el Reporte sobre Economía y Desarrollo 2025 de CAF, acercar la toma de decisiones a los ciudadanos a través de la descentralización encierra la promesa de mejorar la calidad del gobierno y los servicios públicos, ya que la proximidad permite identificar las necesidades locales y tener un control social más directo (CAF, 2025).

Destacan varias áreas de prioridad, como los déficits de financiamiento y las infraestructuras para la innovación. Por ejemplo, las subvenciones regionales para la ciencia destinadas a las provincias biodiversas podrían apoyar centros de investigación, incubadoras y programas de formación en territorios ricos en biodiversidad, y garantizar que no queden excluidos de las oportunidades de financiamiento. Por ejemplo, esta ha sido una queja sistemática de las universidades amazónicas de Brasil en comparación con la Universidad de Sao Paulo, que se percibe que tienen un financiamiento superior para los estudios amazónicos (comunicación personal con investigadores con base en universidades amazónicas de Brasil, julio de 2024). Estas subvenciones para la innovación tecnológica y la incubación podrían ser cofinanciadas por agencias científicas nacionales y bancos regionales de desarrollo, con indicadores de rendimiento y condicionalidades de las subvenciones vinculadas al empleo local, el apoyo a las nuevas empresas locales y los resultados de la conservación.

Mientras tanto, muchas regiones biodiversas carecen de banda ancha e instalaciones de laboratorio, y otros tipos de instalaciones necesarias para crear prototipos y patentar tecnologías, y que son fundamentales para la ciencia y la innovación. Por ejemplo, sin acceso digital, ni siquiera la mejor capacitación puede convertirse en innovación a escala. Las inversiones en infraestructuras de investigación con

conciencia ecológica, como laboratorios, digitalización de especímenes, sensores remotos, deberían ser prioritarias en las carteras de préstamos de los bancos de desarrollo. De lo contrario, la “cooperación científica” corre el riesgo de seguir siendo una conversación de élites desconectada de los territorios donde reside realmente la biodiversidad, y donde es necesario incentivar los medios de vida para que pasen de un ámbito extractivo a otro positivo para la biodiversidad.

Por último, no se puede subestimar la importancia de integrar a las comunidades locales en los procesos de ciencia e innovación. La cooperación científica y la innovación no son solo un proceso técnico, sino ante todo una **negociación cultural y política**. Los modelos de innovación y cooperación científica más inclusivos desde el punto de vista social no se basan en modos de producción de conocimientos que no sean extractivos, sino relacionales. Los pueblos indígenas suelen poseer un conocimiento intrincado de los recursos genéticos, los procesos ecológicos y las prácticas de uso sostenible. Las instituciones científicas de ALC tienen experiencia con una serie de iniciativas que despliegan modos relacionales (en lugar de extractivos) de generación de conocimiento, aunque la evidencia empírica sobre el proceso y el impacto de esas iniciativas es limitada. Sin embargo, cabe destacar algunos casos. Por ejemplo, en Colombia, el Instituto Humboldt tiene experiencia en integrar los conocimientos indígenas en la recopilación de datos y la investigación. Las expediciones de campo y las publicaciones sobre biodiversidad del instituto incluyen “diálogos de saberes y encuentros comunitarios”, en los que científicos y las comunidades indígenas, afrodescendientes, y rurales intercambian conocimientos sobre flora, fauna, usos y taxonomías locales (Cuastumal y Miguel, 2016). Se comprometen a socializar los resultados con las comunidades, capacitarlas en el uso de plataformas para registrar los hallazgos sobre biodiversidad y hacer que la investigación sea legible y útil para los actores locales, al tiempo que consideran que las prácticas, tradiciones y concepciones ecológicas de las comunidades son necesarias para comprender mejor los territorios (ibid.). Esta experiencia y práctica resalta la integración de los conocimientos locales no como un gesto, sino como parte de los enfoques científicos participativos. Aunque no es una institución de ALC, otra iniciativa interesante es el proyecto “Pueblos indígenas amazónicos/Lenguaje para la sostenibilidad” de la Universidad Estatal de Arizona, alojado en el Centro de Resultados en Biodiversidad. Este proyecto hace hincapié en la cogeneración de conocimientos, mezclando la sabiduría biocultural indígena con la conservación y el seguimiento basados en la ciencia. Busca explícitamente la participación de las comunidades indígenas locales no solo como ejecutoras, sino como poseedoras de conocimientos cuyas observaciones, idioma y relaciones con las especies conforman el diseño de los resultados de la investigación y la conservación.

La cooperación científica internacional y la cuestión de la soberanía del conocimiento

Además de las políticas nacionales y regionales, la cooperación internacional desempeña un papel fundamental a la hora de fomentar la innovación basada en la biodiversidad en América Latina. Desde hace tiempo, la biodiversidad de América Latina atrae la atención científica internacional, pero a menudo de formas que reproducen relaciones de poder asimétricas. Universidades y empresas extranjeras han extraído históricamente muestras y conocimientos biológicos sin compensación ni reconocimiento adecuados, un modelo que ahora se denomina biopiratería. La biopiratería suele beneficiar a empresas situadas en economías de ingresos altos. Por ejemplo, un reporte reciente del gobierno ecuatoriano identificaba a los Estados Unidos, Alemania, los Países Bajos, Australia y Corea del Sur como los países que más patentes solicitaron para productos derivados de los recursos endémicos de Ecuador (Senescyt, 2016).

Las políticas de los países extranjeros y las restricciones a la transferencia y difusión de tecnología también suelen presentar sesgos que limitan el potencial de ALC para aprovechar plenamente sus recursos biológicos. Hacer frente a estos prejuicios exige replantearse los marcos de cooperación y comprometerse a una colaboración equitativa y sensible al contexto.

Uno de los principales desafíos reside en que la cooperación internacional se centra en la conservación de la biodiversidad (y en un sesgo más amplio hacia la reducción de las emisiones de carbono, que es responsabilidad de la comunidad internacional y de los grandes emisores históricos) en lugar del uso sostenible para el desarrollo tecnológico y económico, donde se obtienen más beneficios a nivel local. Este énfasis no es simplemente el resultado de la falta de inversión de ALC en investigación y desarrollo (I+D), sino que en muchos sentidos también está moldeado por las políticas de cooperación y los recursos asociados (o la falta de ellos), que a menudo están predeterminados por los países e instituciones donantes. Estas políticas dan prioridad a determinados tipos de colaboración, como las iniciativas orientadas a la conservación, que los países latinoamericanos suelen aceptar sin muchas posibilidades de influir en ellas o adaptarlas a sus necesidades específicas. Por ejemplo, la investigación destaca que la relación entre el norte y el sur global en ciencia y tecnología ha sido históricamente asimétrica. Como señala el sociólogo venezolano Edgardo Lander (1992), la ciencia y la tecnología son intrínsecamente

políticas, y están conformadas por relaciones de poder. A menudo, perpetúan las desigualdades cuando la transferencia de conocimientos y recursos no tiene en cuenta las prioridades o los contextos de las naciones receptoras. Este desequilibrio refuerza la dependencia en lugar de fomentar las capacidades locales en materia de innovación vinculada a la biodiversidad (Lander, 1992). En consecuencia, este enfoque limita la capacidad de la región para transformar su biodiversidad en un motor de desarrollo socioeconómico a través de la innovación.

Por ejemplo, las recientes revisiones de la cooperación científica UE-ALC subrayan un claro panorama de desequilibrio. Al realizar el mapeo de dos décadas de iniciativas birregionales, Belli y Morín Nenoff (2022) muestran que el paso del “Área de conocimiento común” de la UE-ALC al Área de investigación común (CRA, por sus siglas en inglés) redujo la cooperación a tres pilares operativos (movilidad de los investigadores, acceso a las infraestructuras de investigación, y trabajo conjunto en retos compartidos), pero señala una asimetría persistente como una atracción de la agenda dirigida por la UE que no siempre se codiseña con las necesidades de ALC, con secretarías técnicas con escasos recursos y una visibilidad débil que dificulta la continuidad y la inclusión de las partes interesadas (particularmente, empresas y empresarios). En resumen, cuando la cooperación aporta activos comunes (bases de datos, infraestructuras, canales de movilidad) bajo una gobernanza clara, funciona; cuando se detiene en el diálogo sin instrumentos, se estanca (ibid.).

Otro estudio reciente de la Universidad Javeriana de Colombia señala que la cooperación suele seguir un modelo lineal en el que los recursos fluyen del norte al sur sin integrar suficientemente las prioridades científicas y tecnológicas del sur. Replantear esta dinámica requiere promover colaboraciones horizontales que reconozcan la experiencia y la agencia de las instituciones de ALC (Corradine, 2023). De hecho, los programas de cooperación deben diseñarse conjuntamente con las partes interesadas locales, garantizando que aborden necesidades regionales específicas, como la valoración de la biodiversidad a través de la bioprospección sostenible, las tecnologías de restauración de ecosistemas o las innovaciones bioinspiradas. Se necesita urgentemente un cambio en el enfoque de la cooperación internacional. Si se adoptara un enfoque más inclusivo y adaptable de la cooperación internacional, los países donantes y los países de ALC podrían abordar conjuntamente los retos y las oportunidades únicos de la región. Este esfuerzo de colaboración permitiría a la región transformar su biodiversidad en una piedra angular del crecimiento económico sostenible y del liderazgo tecnológico mundial.

Un nuevo paradigma de diplomacia del conocimiento orientada a la biodiversidad debería basarse en tres principios. Estos son los i. El *desarrollo de capacidades y la creación de valor local* con asociaciones internacionales que deben integrar el

desarrollo de capacidades en cada proyecto, a través de laboratorios conjuntos, programas de capacitación y coautoría, que son normas mínimas. Los contratos deben exigir que una parte significativa del gasto en investigación se realice en el país anfitrión, y que la propiedad intelectual generada se comparta con las instituciones locales. El recién anunciado Nature’s Intelligence Studio de la Universidad de Oxford, con sede en Belem (Brasil) y en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonía, ofrece un buen ejemplo.

ii. *Respeto por los conocimientos indígenas y locales* con una cooperación científica que se adhiera al principio de Consentimiento Libre, Previo e Informado (CLPI). Las comunidades indígenas y su conocimiento deben reconocerse como coinvestigadores y no como sujetos. Los protocolos para la soberanía de los datos, en especial para la información genética y de secuencias digitales, son esenciales para evitar la extensión digital de la biopiratería. Las pautas regionales, inspiradas en la Declaración de Cusco sobre el Conocimiento Tradicional (2018), podrían normalizar estas prácticas.

3. *Ciencia abierta con protecciones*. Aunque el acceso abierto a los datos sobre biodiversidad puede acelerar la innovación, la apertura no regulada puede exponer la información sensible sobre especies raras o usos tradicionales a capturas extranjeras. Los mecanismos regionales de gobernanza de datos, posiblemente en el marco de un “fondo común de biodatos” latinoamericano, podrían equilibrar la transparencia con las preocupaciones de soberanía.

En este contexto, los bancos de desarrollo tienen un importante papel de convocatoria. Pueden financiar programas de investigación multinacionales que vinculen explícitamente la conservación de la biodiversidad con la diversificación económica, incorporando al mismo tiempo normas éticas y la participación de las comunidades. A medida que la región y sus bancos de desarrollo se comprometen cada vez más con una serie de socios internacionales (China, países del Golfo, la estrategia Global Gateway de la UE), queda más claro que nunca que se necesitan protecciones sólidas establecidas a nivel regional para que las colaboraciones científicas sean justas y equitativas.

8.



**Conclusiones:
cómo construir la
próxima frontera
de innovación en
América Latina y el
Caribe**

8. Conclusiones: cómo construir la próxima frontera de innovación en América Latina y el Caribe

América Latina y el Caribe se encuentran en una encrucijada. La extraordinaria biodiversidad de la región, con una quinta parte de las especies del planeta, que abarca bosques amazónicos, ecosistemas andinos y corredores marinos del Caribe, es más que una herencia natural: es una fuente infrautilizada de conocimiento, innovación y prosperidad sostenible. El argumento central de este reporte es que la biodiversidad puede y debe reposicionarse como la próxima frontera productiva de la región, anclando un modelo de desarrollo que genere empleos de calidad, nuevas industrias y resiliencia medioambiental. Lograr esta transformación requiere un diseño deliberado de las políticas, una inversión sostenida en capacidades de innovación y el liderazgo estratégico de los bancos de desarrollo.

En todo momento hemos demostrado que la innovación sigue siendo el eslabón perdido de la transformación estructural de ALC. La persistente brecha de productividad de la región y su vulnerabilidad a los ciclos de las materias primas se derivan de la misma debilidad subyacente: una capacidad limitada para crear, adaptar y difundir nuevas tecnologías. Escapar de la trampa del ingreso medio depende de romper este ciclo de dependencia tecnológica y construir ecosistemas nacionales que conecten ciencia, industria y naturaleza. La revolución de la sostenibilidad ofrece una apertura única, lo que Carlota Perez (2010) denomina un nuevo “paradigma tecnoeconómico”, en el que las tecnologías ecológicas, circulares y bioinspiradas

definirán la competitividad mundial. Para ALC, no se trata de una oportunidad de nicho, sino de una oportunidad histórica: la posibilidad de convertir la abundancia biológica en capacidad intelectual e industrial.

Si la región quiere ser líder mundial en innovación basada en la biodiversidad, debe superar los paradigmas extractivistas que aún dominan su narrativa de desarrollo. Carlos Nobre sostiene desde hace tiempo que, para salvar la Amazonia, hay que invertir en su ciencia. Esto no podría ser más cierto hoy en día. La gran oportunidad de una economía del conocimiento centrada en la naturaleza exige invertir en sistemas científicos y tecnológicos que transformen el conocimiento biológico en innovación aprovechable, desde los bioinsumos y biomateriales hasta el diseño bioinspirado y la biointeligencia digital. Desde esta perspectiva, la cooperación científica constituye la arquitectura de un nuevo paradigma: una red de instituciones, investigadores, comunidades y empresas que crean valor a partir de la naturaleza al tiempo que la regeneran. La cooperación científica transforma la biodiversidad de una reserva de recursos en un flujo de conocimientos, que es una forma renovable de capital que crece cuanto más se comparte. El desafío de ALC es institucionalizar este flujo: construir un ecosistema regional de innovación enraizado en su singularidad ecológica y cultural, e impulsado por la ciencia.

Los bancos de desarrollo surgen como actores fundamentales en esa transformación. Su mandato, su capacidad financiera y su poder de convocatoria los convierten en el organismo idóneo para tender puentes entre la conservación, la innovación y el desarrollo productivo. Al asumir funciones catalizadoras y direccionales, movilizar capital paciente, absorber los riesgos de quienes actúan primero y alinear los instrumentos financieros con las misiones tecnológicas a largo plazo, los bancos de desarrollo como CAF pueden ayudar a construir el tejido conectivo que falta en el ecosistema de innovación de la región. Pueden integrar componentes de I+D en los préstamos, cofinanciar empresas basadas en la biodiversidad, apoyar infraestructuras científicas en territorios biodiversos y promover mecanismos regionales de aprendizaje compartido e intercambio científico. De este modo, pueden cambiar la trayectoria de desarrollo de la región, de una basada en las rentas de los recursos naturales a otra fundamentada en el conocimiento, las capacidades y la creación de valor.

En conclusión, si bien la biodiversidad representa una inmensa oportunidad para impulsar el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe, en este reporte se ha detallado por qué y cómo aprovechar esta oportunidad requiere ir más allá de los modelos tradicionales de conservación y adoptar agendas transformacionales que protejan el valor ecológico de la biodiversidad y aprovechen su valor de innovación. La implementación de esta visión desarrollista exigirá aumentar y

reorientar las inversiones y el financiamiento de la biodiversidad, así como una mayor coordinación entre los sectores público y privado, las comunidades científicas, las comunidades locales y las instituciones financieras. Históricamente, esta coordinación ha sido complicada en ALC, pero de ella depende en gran medida la capacidad de la región para saltar a la frontera del desarrollo y dar forma al siglo XXI. Adoptar un pensamiento de política y financiamiento ecosistémico que reconozca la interconexión de todas las partes interesadas es quizás la mayor lección que puede extraerse de los ricos ecosistemas naturales de la región.

Lista de referencias

Acemoglu, D. (2024). The simple macroeconomics of AI (documento de trabajo n.º 32487 de la NBER). Oficina Nacional de Investigación Económica. Accesible en: <https://www.nber.org/papers/w32487>.

Aghion, P., Howitt, P., 1990. A model of growth through creative destruction (documento de trabajo 3223 de la NBER). Oficina Nacional de Investigación Económica: Cambridge, EE. UU.

Aguilar, A., Balmaseda, M., Melguizo, Á. y Muñoz, V. (2023). Digitales, verdes y aliados: Impacto económico, social y medioambiental de la Iniciativa Global Gateway y la Alianza Digital UE–América Latina y el Caribe. Fundación Carolina & Telefónica. Accesible 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/>.

Alix-Garcia, J. M., Shapiro, E. N. y Sims, K. R. E. (2012). Forest Conservation and Slippage: Evidence from Mexico's National Payments for Ecosystem Services Program. *Land Economics*, 88(4), 613–638. <http://www.jstor.org/stable/23272663>.

Allain, S., Ruault, J. F., Moraine, M. y Madelrieux, S. (2022). The 'bioeconomics vs bioeconomy' debate: Beyond criticism, advancing research fronts. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42, 58-73.

Alpízar, F., Madrigal, R., Alvarado, I., Brenes Vega, E., Camhi, A., Maldonado, J. H., Marco, J., Martínez, A., Pacay, E. y Watson, G. (2020). Incorporación del capital natural y la biodiversidad en la planificación y toma de decisiones: Casos de América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.18235/0002667>.

Arrow, K., 1962. Economic welfare and the allocation of resources for invention. En: *The rate and direction of inventive activity Economic and social factors*. Princeton University Press, pp. 609–626.

Asociación Colombiana de Petróleo -ACP (2017). *Costos De Operación Del Sector Petrolero En Colombia En 2017*. Bogotá: ACP.

Baccini, A., et al. (2012). Estimated carbon emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2(3), 182–185.

Barbier, E. (2022). The policy implications of the Dasgupta Review: Land use change and biodiversity. *Environmental and Resource Economics*, 83(4), 911–935. Accesible en: <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00658-1>.

Befort, N., Fouhecour, F.de, Rouffignac, A.de, Holt, C.A., Leclere, M., Loth, T., Thierry, M., 2020. Toward a European bioeconomic transition: is a soft shift enough to challenge hard socio-ecological issues? *Natures Sci. Sociétés*. <https://doi.org/10.1051/nss/2020004>.

Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. William Morrow.

Bértola, L. y Ocampo, J. A. (2012). *The economic development of Latin America since independence*. Oxford University Press.

Bértola, L. y Ocampo, J. A. (2012). *The Economic Development of Latin America since Independence*. Oxford University Press.

Birch, K., Levidow, L., Papaioannou, T., 2010. Sustainable capital? The Neoliberalization of nature and knowledge in the European “Knowledge-based Bio-economy. *Sustainability* 2 (9), 2898-2918. <https://doi.org/10.3390/su2092898>.
Blasiak, R., Jouffray, J. B., Wabnitz, C. C., Sundström, E. y Österblom, H. (2018). Corporate control and global governance of marine genetic resources. *Science Advances*, 4(6), eaar5237. Accesible en: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar5237>.

Bonser, R. H. (2006). Patented biologically-inspired technological innovations: a twenty year view. *Journal of bionic engineering*, 3(1), 39-41.

Bremmer, I. y Suleyman, M. (2023). The AI power paradox: Can states learn to govern artificial intelligence—before it’s too late? *Foreign Affairs*. Accesible en: <https://www.foreignaffairs.com/world/artificial-intelligence-power-paradox>.

Briones, J. C. R. (2025). A predictive model for patent generation in Mexico’s 32 states. *IEOM Proceedings*.

CAF (2023). *Global challenges, regional solutions: RED 2023 report*. Banco de desarrollo de América Latina (CAF). Accesible en: <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/2136/RED2023-ENG.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

Campaign for Nature. (2024). *Funding nature: The essential role of public finance and the illusion of biodiversity credits*. Campaign for Nature. Accesible en: <https://www.campaignfornature.org/funding-nature-essential-public-finance>.

CEPAL. (2020). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2020: principales condicionantes de las políticas fiscal y monetaria en la era pospandemia de COVID-19*. Publicación de CEPAL. Accesible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46070-estudio-economico-america-latina-caribe-2020-principales-condicionantes>.

Chang, H.-J. (1994). *The political economy of industrial policy*. Palgrave Macmillan.

Chen, L., Chen, Z. y Zhang, Y. (2023). Artificial intelligence–based solutions for climate change: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21, 2525–2557. Accesible en: <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01617-y>.

Cherif, R. y Hasanov, F. (2019). *The Return of the Policy That Shall Not Be Named: Principles of Industrial Policy*. Fondo Monetario Internacional.

Cimoli, M., Dosi, G. y Stiglitz, J. E. (Eds.). (2009). *Industrial Policy and Development: The Political Economy of Capabilities Accumulation*. Oxford University Press.

Clancy, H. (25 de octubre de 2024). *Natura’s formula for cultivating Indigenous relationships in the Amazon rainforest*. Trellis. <https://www.trellis.net/article/naturas-formula-for-cultivating-indigenous-relationships-in-the-amazon-rainforest/>.

Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) (2016). *Biomimética: Soluciones inspiradas en la naturaleza*. 20 de mayo. Gobierno de Chile. Accesible en: <https://www.conicyt.cl/explora/biomimetica-soluciones-inspiradas-en-la-naturaleza/>.

Corradine, A. (2023). Investigación Sur Global-Norte. Pontificia Universidad Javeriana. Accesible en: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/investigacion-sur-global-norte/>.

Cuastumal, P. y Gómez, A. J. (2021). Biodiversidad del Chocó: retos y oportunidades para investigación y conservación (Documento de Trabajo No. 45). Instituto Alexander von Humboldt. <https://repository.humboldt.org.co/entities/publication/3a5fb094-ad8c-4200-a720-6d44219b757a>.

Deutz, A., Heal, G. M., Niu, R., Swanson, E., Townshend, T., Li, Z. y Tobin-de la Puente, J. (2020). Financing nature: Closing the global biodiversity financing gap. The Paulson Institute, The Nature Conservancy y Cornell Atkinson Center for Sustainability.

Dutrénit, G. (2014). Learning and innovation in developing countries: The role of national innovation systems. Edward Elgar.

CEPAL, FAO, IICA. (2019) The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean 2019-2020. San José, Costa Rica: CEPAL.

CEPAL. (2022). How to finance sustainable development. Special Report COVID-19 No. 13. Santiago: CEPAL.

Edgardo Lander. (1992). La ciencia y la tecnología como asuntos políticos: Los límites de la democracia en la sociedad tecnológica. Universidad Central de Venezuela. Accesible en: <https://www.tni.org/files/download/La%20ciencia%20y%20la%20tecnolog%C3%ADa%20como%20asuntos%20pol%C3%ADticos.pdf>.

Ehlers, S., da Silva, M. R. y Stewart-Ibarra, A. M. (2021). Bridging science and policy through collaborative, interdisciplinary global change research in the Americas. *Environmental Development*, 38, 100630. Accesible en: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100630>.

Eichengreen, B., Park, D. y Shin, K. (2012). When fast-growing economies slow down: International evidence and implications for China. *Asian Economic Papers*, 11(1), 42–87.

Eichengreen, B., Park, D., (2013). Growth Slowdowns redux: New evidence on the middle-income trap. Oficina Nacional de Investigación Económica.

Estevadeordal, A., Frantz, B. y Nguyen, T. R. (Eds.). (2004). *Regional Public Goods: From Theory to Practice*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Fermanian Business & Economic Institute, 2013. Bioinspiration: An Economic ProgressReport. San Diego, CA: Point Loma Nazarene University. Accesible en http://www.pointloma.edu/sites/default/files/filemanager/Fermanian_Business__Economic_Institute/Economic_Reports/BioReport13.FINAL.sm.pdf (consultado el 28 de mayo de 2014).

Fermanian Business & Economic Institute. (2015). Tapping into Nature: The future of energy, innovation and business inspired by nature. Nueva York: Terrapin Bright Green.

Freeman, C. (1992). The economics of hope. Pinter.

Freeman, C. (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 53(1), 27–39.

Gill, D. A., Blythe, J., Bennett, N. J., Evans, L. S., Brown, K., Turner, R. A., Claudet, J. (2023). Triple exposure: Reducing negative impacts of climate change, blue growth, and conservation on coastal communities. *One Earth*, 6(2), 118–130.

Gmyrek, P., H. Winkler y S. Garganta (2024), “La IA generativa y los empleos en América Latina y el Caribe: ¿La brecha digital es un amortiguador o un cuello de botella?”, Documento de Trabajo 121 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Organización Internacional del Trabajo y el Banco Mundial. <https://www.ilo.org/es/publications/la-ia-generativa-y-los-empleos-en-america-latina-y-el-caribe-la-brecha>.

Gouvea, R. (2004). Managing the Ecotourism Industry in Latin America: Challenges and Opportunities. *Problems and Perspectives in Management*, 2(2).

Gramkow, C. (2020). Green fiscal policies: An armoury of instruments to recover growth sustainably (No. 45418). Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Gray, C. y Khatri, A. (9 de diciembre de 2022). How biodiversity credits can deliver benefits for business, nature, and local communities. Foro Económico Mundial. <https://www.weforum.org/agenda/2022/12/biodiversity-credits-wef-nature-communities-business/>.

Griffith-Jones, S. y Ocampo, J. A. (2018). The future of national development banks. *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1–2), 352–370.

Hausmann, R. y Rodrik, D. (2003). Economic development as self-discovery. *Journal of Development Economics*, 72(2), 603–633.

Helms, M., Vattam, S.S., Goel, A.K., 2009. Biologically inspired design: process and products. *Des. Stud.* 30 (5), 606–622.

<https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>.

Hübler, M. (2019). How trade in ecotourism services can save nature: A policy scenario analysis. *Development Southern Africa*, 36(1), 127–143.

Hunt, C. A., Durham, W. H., Driscoll, L. y Honey, M. (2015). Can ecotourism deliver real economic, social, and environmental benefits? A study of the Osa Peninsula, Costa Rica. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(3), 339–357.

IAI (2019). *Science for Policy in the Americas: Lessons from Transdisciplinary Networks*. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global.

AIE, Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD, por sus siglas en inglés), Banco Mundial y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*. Washington, DC: Banco Mundial.

IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (7 de agosto de 2024). La Red Latinoamericana de Bioeconomía dio a conocer los principios rectores: herramienta clave para orientar políticas e inversiones que favorezcan el desarrollo sostenible en la región (comunicado de prensa). <https://www.iica.int/es/press/noticias/la-red-latinoamericana-de-bioeconomia-dio-conocer-los-principios-rectores>.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). *Sustainability report 2017*. Publicaciones del BID. Accesible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Inter-American-Development-Bank-Sustainability-Report-2017.pdf>.

Cumbre del Consejo Asesor Internacional en Bioeconomía Global. (2018). *Communiqué, Global Bioeconomy Summit 2018: Innovation in the global bioeconomy for sustainable and inclusive transformation and wellbeing*. Berlín, 20 de abril de 2018. Accesible en: https://gbs2020.net/fileadmin/gbs2018/Downloads/GBS_2018_Communique.pdf.

Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2021). *World Energy Outlook*. París: AIE.

Agencia Internacional de la Energía (AIE). (2024). *Renewables 2023*. París: AIE.

IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

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

Jacobson, S. K. y Lopez, A. F. (1994). Biological impacts of ecotourism: tourists and nesting turtles in Tortuguero National Park, Costa Rica. *Wildlife Society Bulletin*, 414-419.

Jayachandran, S. (2023). The inherent trade-off between the environmental and anti-poverty goals of payments for ecosystem services. *Environmental Research Letters*, 18(2), 025003. Accesible en: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acb22a>.

Karolyi, G. y Tobin-de la Puente, J. (2023). Biodiversity finance: A call for research into financing nature. *Financial Management*, 52(2), 231–251. Accesible en: <https://doi.org/10.1111/fima.12417>.

Katz, J. (2000). *Structural Reforms and Technological Behaviour*. Macmillan.

Klein, N. (6 de marzo de 2013). Dancing the world into being: A conversation with Idle No More's Leanne Simpson. YES! Magazine. <https://www.yesmagazine.org/social-justice/2013/03/06/dancing-the-world-into-being-a-conversation-with-idle-no-more-leanne-simpson>.

Koens, J. F., Dieperink, C. y Miranda, M. (2009). Ecotourism as a development strategy: Experiences from Costa Rica. *Environment, Development and Sustainability*, 11(6), 1225–1237.

Lander, E. (1992). La ciencia y la tecnología como asuntos políticos: Los límites de la democracia en la sociedad tecnológica. Universidad Central de Venezuela. Accesible en: <https://www.tni.org/files/download/La%20ciencia%20y%20la%20tecnolog%C3%ADa%20como%20asuntos%20pol%C3%ADticos.pdf>.

Larrea, C., Warnars, L., 2009. Ecuador's Yasuni-ITT initiative: avoiding emissions by keeping petroleum underground. *Energy Sustain. Dev.* 13 (3), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2009.08.003>.

Lebdioui, A. (2022). Nature-inspired innovation policy: Biomimicry as a pathway to leverage biodiversity for economic development. *Ecological Economics*, 202, 107611. Accesible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107611>.

Lebdioui, A. (2022). Nature-inspired innovation policy: Biomimicry as a pathway to leverage biodiversity for economic development. *Ecological Economics*, 202, 107585.

Lebdioui, A. (2024). *Survival of the greenest: Economic transformation in a climate-conscious world (Elements in Development Economics)*. Cambridge University Press. Accesible en: <https://www.cambridge.org/core/books/survival-of-the-greenest/F0A8EDD3878C262B24FAEC1A9CE1CA18>.

Lebdioui, A., 2019. Chile's export diversification since 1960: a free market miracle or mirage? *Dev. Chang.* 50 (6), 1624–1663.

Lebdioui, A., Lee, K. y Pietrobelli, C. (2021). Local-foreign technology interface, resource-based development, and industrial policy: How Chile and Malaysia are escaping the middle-income trap. *The Journal of Technology Transfer*, 46, 660–685.

Lebdioui, A., Melguizo, Á. y Muñoz, V. (2025). Artificial intelligence, biodiversity, and energy: From a resource-intensive to a symbiotic tech (TIDE Working Paper No. 90). Technology, Industrialisation and Development Centre, University of Oxford. Accesible en: https://oxford-tide.org/wp-content/uploads/2025/01/tide-working-paper-90_-ai-biodiversity-and-energy5.pdf.

Lee, K. (2013). *Schumpeterian Analysis of Economic Catch-Up, Knowledge, Path-Creation and the Middle-Income Trap*. Cambridge: Cambridge University Press.

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), 1193–1209. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa044>.

Lepora, N.F., Verschure, P., Prescott, T.J., 2013. The state of the art in biomimetics. *Bioinspir. Biomim.* 8 (1), 013001.

Levidow, L. (2015). European transitions towards a corporate-environmental food regime: Agroecological incorporation or contestation? *Journal of Rural Studies*, 40, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.06.001>.

Macías Barberán, R., Cuenca Nevárez, G., Intriago Flor, F., et al. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(1), 8707–8716.

Malavasi, E.O., Kellenberg, J., 2002. Program of payments for ecological services in Costa Rica. En: *Building Assets for People and Nature: International Expert Meeting on Forest Landscape Restoration*, Heredia, Costa Rica (Vol. 27, pp. 1-7).

Manes, S. y Vale, M. M. (2022). Achieving the Paris Agreement would substantially reduce climate change risks to biodiversity in Central and South America. *Regional Environmental Change*, 22(2), 60. Accesible en: <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01933-8>.

Marin, A., Navas-Alemán, L., Perez, C.I., 2015. Natural resource industries as a platform for the development of knowledge intensive industries. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie* 106 (2), 154–168.

Mastrángelo, M. E., Torres, I., Borbor-Cordova, M. J., Hurlbert, M. A., Silva, J., & Stewart-Ibarra, A. M. (2024). Global environmental change policy priorities from the Americas and opportunities to bridge the science–policy gap. *Ecosystems and People*, 20(1). Accesible en: <https://doi.org/10.1080/26395916.2024.2354309>.

Mateo, N., Nader, W., Tamayo, G., 2001. Bioprospecting. *Encyclopedia Biodiv.* 1, 471–488.

Mazzucato, M. (2021). *Mission economy: A moonshot guide to changing capitalism*. Penguin.

Mazzucato, M., 2013. *The Entrepreneurial State*. Anthem, Londres.

Mazzucato, M., 2016. From market fixing to market creating: a new framework for innovation policy. *Ind. Innov.* 23 (2), 140–156.

McKinsey (2018), Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy. <https://shorturl.at/ij2Fk>.

McKinsey (2023), The economic potential of generative AI: The next productivity frontier.

Mesa, J. A., Sierra-Fontalvo, L., Ortegon, K. y Gonzalez-Quiroga, A. (2024). Advancing circular bioeconomy: A critical review and assessment of indicators. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 324–342.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.

Morales, M. (2021). Scientific advisory systems: Experiences from across the world. On Think Tanks (OTT). Accesible en: <https://onthinktanks.org/publication/scientific-advisory-systems-experiences-from-across-the-world/>.

Muschett, M. y R. Opp (2024), La revolución de la Inteligencia Artificial (IA) ya está aquí: ¿Cómo responderá América Latina y el Caribe?, PNUD. <https://www.undp.org/es/latin-america/blog/la-revolucion-de-la-inteligencia-artificial-ia-ya-esta-aqui-como-respondera-america-latina-y-el-caribe>.

Nidumolu, R., Prahalad, C. K. y Rangaswami, M. R. (2009). Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard Business Review*, 87(9), 56–64.

Nobre, C. A. (2018). The Amazon Third Way Initiative/Amazonia 4.0: An innovation ecosystem for sustainable development. Forum CILAC Policy Papers. Accesible en: <http://forocilac.org/wp-content/uploads/2018/10/PolicyPapersCILAC2018-AmazonNobre.pdf>.

Nobre, C. A. (2019). To save Brazil's rainforest, boost its science. *Nature*, 574(7779), 455–456.

Nobre, I. y Nobre, C. A. (2019). The Amazonia third way initiative: the role of technology to unveil the potential of a novel tropical biodiversity-based economy. *Land use. Assessing the Past, Envisioning the Future*, 12–13.

OCDE. (2020). A comprehensive overview of global biodiversity finance. Publicación de la OCDE. Accesible en: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/04/a-comprehensive-overview-of-global-biodiversity-finance_ad660ace/25f9919e-en.pdf.

OCDE. (2024). Biodiversity and development finance 2015–2022: Contributing to Target 19 of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Publicación de la OCDE, París. Accesible en: [https://one.oecd.org/document/DCD/DAC\(2024\)40/ADD2/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DCD/DAC(2024)40/ADD2/FINAL/en/pdf).

OxValue.AI. (2024). White paper on AI startups by valuation creation (Documento de Trabajo 89 del TMCD). Centro de Tecnología y Gestión para el Desarrollo, Universidad de Oxford. Accesible en: <https://www.oxfordtmcd.org/publication/white-paper-ai-startups-valuation-creation>.

Pamplona, D. A. (2025). Spatial distribution of patent filings in Brazil, 1997–2021. *ARACE – Revista de Ciências Contábeis e Econômicas*. periodicos.newsciencepubl.com.

Pawlyn, M. (2016). *Biomimicry in architecture* (2nd ed.). RIBA Publishing.

Pearce, D.W., Pearce, C., (2001). *The Value of Forest Ecosystems*. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Disponible en: <https://www.cbd.int/d oc/publications/cbd-ts-04.pdf> (consultado en diciembre de 2020).

Perez, C. (2008). A vision for Latin America: A resource-based strategy for technological dynamism and social inclusion. *Globelics Working Paper Series*.

Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 185–202.

Perez, C. (2016). Capitalism, technology and a green global golden age: The role of history in helping to shape the future. En M. Jacobs & M. Mazzucato, eds., *Rethinking Capitalism: Economics and Policy for Sustainable and Inclusive Growth*. Londres: Wiley Blackwell, Vol. 1, pp. 191–217.

Pettinotti, L., Cao, Y., Kamninga, T. y Colenbrander, S. (2024). A fair share of biodiversity finance? Apportioning responsibility for the \$20 billion target by 2025. Instituto de Desarrollo en el Exterior (ODI, por sus siglas en inglés). Accesible en: https://www.campaignfornature.org/s/FINAL-ODI_Fair_Share_of_Biodiversity_Finance_COP16_update.pdf.

Prebisch, R. (1950). *The Economic Development of Latin America and Its Principal Problems*. Santiago: Comisión Económica para América Latina de las Naciones Unidas.

Premkumar, J. y Vasudevan, R. T. (2018). Bioingredients: Functional properties and health impacts. *Current Opinion in Food Science*, 19, 120–128.

Purkey, D. (2021) 'Biodiversity', in *LatAm Outlook 2021*. Canning House, London.

Rao, N., et al. (2023). The Missing Economic Diversity of the Colombian Amazon. Harvard Growth Lab (Documento de Trabajo 156 de CID).

Rao, N., Townsend, T. y Tobin-de la Puente, J. (2 de diciembre de 2024). Can “biodiversity credits” boost conservation? World Resources Institute. Accesible en: <https://www.wri.org/insights/biodiversity-credits-explained>.

Robalino, J. y Pfaff, A. (2013). Ecopayments and deforestation in Costa Rica. *PNAS*, 110(16), 6252–6257.

Robert, V. y Marin, A. (2022). *Biotechnology and the Sustainable Bioeconomy in Latin America*. CONICET/CENIT.

Rodríguez, A.G., Rodrigues, M.D.S., Sotomayor Echenique, O., 2019. Towards a Sustainable Bioeconomy in Latin America and the Caribbean: Elements for a Regional Vision. Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), p. 2020.

Rodrik, D. (2014). Green Industrial Policy. *Oxford Review of Economic Policy*, 30(3), pp. 469–491.

Saget, C., Vogt-Schilb, A. y Luu, T. (2020). Jobs in a net-zero emissions future in Latin America and the Caribbean. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Organización Internacional del Trabajo (OIT). Accesible en: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/jobs-net-zero-emissions-future-latin-america-caribbean_en.

Salazar-Xirinachs, J. M., Nübler, I. y Kozul-Wright, R. (2018). Transformando las economías: Haciendo que la política industrial funcione para el crecimiento, el empleo y el desarrollo. Organización Internacional del Trabajo (OIT). Accesible en: https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_626533/lang--es/index.htm.

Sanchez-Azofeifa, G. A., Pfaff, A., Robalino, J. A. y Boomhower, J. P. (2007). Costa Rica's payment for environmental services program: intention, implementation, and impact. *Conservation biology*, 21(5), 1165–1173.

Schröder, P., Albaladejo, M., Ribas, P. A., MacEwen, M. y Tilkanen, J. (2020). The circular economy in Latin America and the Caribbean. The Royal Institute of International Affairs, Chatham House, Londres, Reino Unido.

Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. McGraw-Hill.

Jesús Sebastián, “The CYTED-D Programme: An innovative venture for international co-operation in Ibero-America,” *Impact of Science on Society* 167 (1992): 215–24.

Seidl, A., Mulungu, K., Arlaud, M., van den Heuvel, O. y Riva, M. (2020). Finance for nature: A global estimate of public biodiversity investments. *Ecosystem Services*, 46, 101216. Accesible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101216>.

Sherman, K. y Hempel, G. (2009). The UNEP large marine ecosystem report: A perspective on changing conditions in LMEs of the world's regional seas. PNUMA.

Silva, D. H. S. (2022). Bioprospecting as a strategy for conservation and sustainable use of the Brazilian flora. *Biota Neotropica*, 22(1), e20211268.

Silvestro, D., Gorla, S. y Sterner, T. (2022). Improving biodiversity protection through artificial intelligence. *Nature Sustainability*, 5, 415–424. Accesible en: <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00851-6>.

Simpson, R. D., Sedjo, R. A. y Reid, J. W. (1996). Valuing biodiversity for use in pharmaceutical research. *Journal of Political Economy*, 104(1), 163–185.

Soler, M. G. (2014). El Papel de las Redes Científicas Intergubernamentales en las Relaciones Regionales y la Integración de América Latina. *Science & Diplomacy*, 3(4). Accesible en: <https://www.sciencediplomacy.org/article/2015/el-papel-de-las-redes-cientificas-intergubernamentales-en-las-relaciones-regionales-y>.

Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., et al. (2019). Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: Understanding the biophysical, socioeconomic and governance links. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 354–374.

Stanford Institute for Human-Centered AI. (2024). Artificial Intelligence Index Report 2024. Stanford University. Accesible en: https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf.

Stem, C.J., Lassoie, J.P., Lee, D.R., Deshler, D.J., 2003. How 'eco' is ecotourism? A comparative case study of ecotourism in Costa Rica. *J. Sustain. Tour.* 11 (4), 322–347.

Stoneman, P., 1983. The economic analysis of technological change. Oxford [Oxfordshire]. Oxford University Press, Nueva York.

Stronza, A. L., Hunt, C. A. y Fitzgerald, L. A. (2019). Ecotourism for conservation? *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 229–253.

Swanson, T. (1996). The reliance of northern economies on southern biodiversity: Biodiversity as information. *Ecological Economics*, 17(1), 1–8.

Swanson, T., 1996. The reliance of northern economies on southern biodiversity: biodiversity as information. *Ecological Economics*. 17 (1), 1–8. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00101-8](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00101-8).

Trigo EJ, Henry G, Sanders J, Schurr U, Ingelbrecht I, Revel C, Santana C, Rocha P. (2013). Towards bioeconomy development in Latin America and the Caribbean. Documento de Trabajo sobre Bioeconomía, 15, 1-15.

UNCTAD. (2020). BioTrade principles and criteria for terrestrial, marine, and other aquatic biodiversity-based products and services. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD). Accesible en: <https://standardsmap.org/en/factsheet/734/resources>.

UNEP (2010) Latin America and the Caribbean: Environment Outlook. Panamá: Naciones Unidas

UNESCO. (2024). Challenging systematic prejudices: An investigation into bias against women and girls in large language models. UNESCO. Accesible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388971>.

Naciones Unidas (2025). Governments agree on the way forward to mobilise the resources needed to protect biodiversity for people and planet. Accesible en: <https://news.un.org/en/story/2025/02/1160676>.

Vanloqueren, G. y Baret, P. (2009). How agricultural research shapes future food systems. *Research Policy*, 38(6), 971–983.

Vergara, W., Rios, A. R., Paliza, L. M. G., et al. (2013). The Climate and Development Challenge for Latin America and the Caribbean: Options for Climate-Resilient, Low-Carbon Development. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo.

Wall Street Journal (2016) 'Barrel Breakdown', 15 de abril. Disponible en: <http://graphics.wsj.com/oil-barrel-breakdown/> (consultado en diciembre de 2020).

OMPI (2023). São Paulo is Brazil's innovation powerhouse. Blog de Economía de la OMPI.

Banco Mundial. (2010). Exploring the Middle-Income-Trap. Washington, D.C.: Banco Mundial.

Banco Mundial. (2024). World Development Indicators (Base de datos). Banco Mundial. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.

World Travel & Tourism Council. (2019). Nature positive travel and tourism: Travelling in harmony with nature. WTTC. Accesible en: <https://wttc.org/initiatives/vision-for-nature-positive-travel-and-tourism>.

