



GRUPO BANCO MUNDIAL



DIGITAL
DEVELOPMENT
PARTNERSHIP

Promover la conservación de la Amazonía a través de las tecnologías digitales



Algunos derechos reservados: Esta obra ha sido realizada por el Banco Mundial. Las opiniones, interpretaciones y conclusiones aquí expresadas no son necesariamente reflejo de la opinión del Directorio Ejecutivo de la institución ni de los países representados por este.

El Banco Mundial no garantiza la exactitud, la exhaustividad ni la vigencia de los datos incluidos en este trabajo. Tampoco asume responsabilidad por errores, omisiones o discrepancias en la información aquí contenida ni otro tipo de obligación con respecto al uso o a la falta de uso de los datos, los métodos, los procesos o las conclusiones aquí presentados. Las fronteras, colores, denominaciones, enlaces, notas a pie de página y demás información que aparecen en esta obra no implican juicio alguno por parte del Banco Mundial sobre la condición jurídica de ninguno de los territorios citados, ni la aprobación o aceptación de tales fronteras. La cita de obras de otros autores no significa que el Banco Mundial respalde las opiniones expresadas por dichos autores o el contenido de sus obras.

Nada de lo establecido en este documento constituirá o se considerará una limitación o renuncia a los privilegios e inmunidades del Banco Mundial, los cuales quedan específicamente reservados en su totalidad.

Derechos y autorizaciones: El material contenido en este documento está registrado como propiedad intelectual. El Banco Mundial alienta la difusión de sus conocimientos y autoriza la reproducción total o parcial de este informe para fines no comerciales en tanto se cite la fuente.

Cita de la fuente: La obra debe citarse de la siguiente manera: Comini, Niccolò (2026), *Promover la conservación de la Amazonía a través de las tecnologías digitales*, © Banco Mundial.

Cualquier consulta sobre derechos y licencias, incluidos derechos subsidiarios, deberá dirigirse a la siguiente dirección: World Bank Publications, The World Bank, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, EE. UU.; fax: (202) 522-2625; correo electrónico: pubrights@worldbank.org.

Fotografía de la portada: ©CPI-Acre. Utilizada con la autorización de la Comisión Proindígenas de Acre (CPI-Acre). Para volver a utilizar la imagen, se requiere autorización adicional.

Índice

Agradecimientos	4
Siglas.....	5
Introducción	6
Impactos del cambio climático en la Amazonía.....	7
Impactos del cambio climático en los habitantes de la Amazonía ...	8
¿Cómo pueden las tecnologías digitales apoyar e incluso acelerar los esfuerzos de conservación en la Amazonía?	9
Capítulo 1: Tecnologías digitales para monitorear el medio ambiente en la Amazonía.....	11
¿Qué se monitorea?	12
¿Cómo se monitorea? Evaluación de actividades digitales prometedoras.....	15
Herramientas de apoyo y procesamiento de datos	18
Hacer frente a los desafíos: Obstáculos a la implementación de tecnologías digitales para la conservación en la Amazonía	19
Recomendaciones clave para mejorar el monitoreo en el bioma amazónico a través de las tecnologías digitales	21
Capítulo 2: Infraestructura digital en el bioma amazónico	22
El estado de la conectividad digital en la Amazonía.....	22
Cómo cerrar la brecha de conectividad digital en la Amazonía	24
El costo de la conectividad a internet en la Amazonía	25
Recomendaciones clave para conectar la Amazonía	27
Capítulo 3: Gobernanza de datos climáticos en la Amazonía para un uso confiable y equitativo....	29
Diseño de un marco de gobernanza de datos para apoyar los esfuerzos de conservación basados en datos en la Amazonía	33
Generar mejores perspectivas mediante la interoperabilidad, integración y accesibilidad de las fuentes de datos	34
Actores clave para la gobernanza de datos en la Amazonía	36
El desafío de la coordinación entre instituciones	39
Recomendaciones clave para abordar la gobernanza de datos en la Amazonía	42
Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones	44
El papel de los elementos habilitantes como sostén de los componentes esenciales	45
Recomendaciones para promover los elementos habilitantes de los componentes esenciales, por grupos de partes interesadas ...	46
De cara al futuro.....	48
Apéndice A: Partes interesadas entrevistadas	49
Apéndice B: Cuestionario orientativo utilizado para las consultas con las partes interesadas.....	50
Apéndice C: Herramientas e iniciativas mencionadas en el informe	53
Estudios de casos	54
Estudio de caso 1: Uso de tecnologías para apoyar el monitoreo y la protección de los territorios indígenas	55
Estudio de caso 2: Integración de las tecnologías digitales para el monitoreo del clima y la biodiversidad	58
Estudio de caso 3: Mejora del monitoreo meteorológico, agrometeorológico, climático e hidrológico mediante tecnologías digitales integradas.	60
Estudio de caso 4: Tecnologías digitales que respaldan la gestión y el monitoreo territorial y ambiental indígena .	62
Bibliografía	65

Agradecimientos

El presente informe fue elaborado por Niccolò Comini, bajo la orientación de Christine Zhenwei Qiang, Michel Kerf y Casey Torgusson, con el valioso apoyo de Naikoa Aguilar, Seth Ayers, Felipe Spina Avino, Adele Barzelay, Luciano Charlita de Freiras, David Lapola, Elena Puche Palao y Korneth Sai Roshan Menon, cuyas contribuciones técnicas y estratégicas fueron fundamentales a lo largo del proceso. El equipo también desea extender un agradecimiento especial a Katherine Macdonald y James Carroll de Ookla por su valioso apoyo y colaboración. El análisis de conectividad fue realizado por EFTS Group. Wendy Chamberlin se desempeñó como editora y Gail Zúñiga estuvo a cargo del diseño.

El equipo agradece los valiosos comentarios y sugerencias de Emmy Yokoyama, Isabella Maria Linnea Hayward, Daniel Alberto Sumalavia Casuso, Joseph S. Trommer, Ana María González Velosa y muchos otros colegas del Banco Mundial y de otras instituciones. Este informe también se benefició de los comentarios de Marion Adeney, Angelina Fisher y de todas las partes interesadas entrevistadas (véase el apéndice A).

Promover la conservación de la Amazonía a través de las tecnologías digitales cuenta con el apoyo de la Alianza para el Desarrollo Digital 2.0, una iniciativa del Banco Mundial respaldada por asociados en la tarea del desarrollo que tiene como objetivo promover la transformación digital en los países de ingreso bajo y mediano mediante el fortalecimiento de las bases y elementos habilitantes digitales, a la vez que facilita casos de uso para el desarrollo de las economías digitales.

Siglas

ACI: Alerta Clima Indígena, Brasil

APIB: Articulación de los Pueblos Indígenas de Brasil

APP: asociación público-privada

ASL: Programa Paisajes Sostenibles de la Amazonía

BMD: banco multilateral de desarrollo

BMZ: Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica

CARE: beneficio colectivo, autoridad para controlar, responsabilidad, ética

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CPI-Acre: Comisión Proindígenas de Acre, Brasil

CPTEC: Centro de Previsión del tiempo y Estudios Climáticos, Brasil

DETER: Sistema de Detección de la Deforestación en Tiempo Real

DHIME: Sistema de Información para la Gestión de Datos Hidrológicos y Meteorológicos, Colombia

ENOS: El Niño-Oscilación del Sur

FAIR: encontrable, accesible, interoperable, reutilizable

FUNAI: Fundación Nacional de los Pueblos Indígenas, Brasil

GNSS: sistema global de navegación por satélite

IA: inteligencia artificial

IBAMA: Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales

IdC: internet de las cosas

IdC-BE: internet de las cosas de banda estrecha

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia

IDSEP: Infraestructura de Datos Espaciales

IGP: Instituto Geofísico del Perú

INMET: Instituto Nacional de Meteorología, Brasil

INPE: Instituto Nacional de Investigación Espacial, Brasil

IPAM: Instituto de Investigación Ambiental de la Amazonía

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

LiDAR: detección y localización por ondas lumínicas

LLM: modelo de lenguaje de gran tamaño

LPWAN: red de área amplia de baja potencia

MAAP: Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina

ONG: organización no gubernamental

ORA: Observatorio Regional Amazónico

OSC: organización de la sociedad civil

OTCA: Organización del Tratado de Cooperación Amazónica

RAISG: Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada

SEMA-AM: Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Amazonas

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú

SERNANP: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado

SIG: sistema de información geográfica

SMART: herramienta de monitoreo espacial y notificación

UAS: sistemas aéreos no tripulados

USDAID: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

WWF: Fondo Mundial para la Naturaleza



Introducción

El cambio ambiental en la Amazonía está impulsado por la compleja interacción entre la actividad humana y la dinámica climática. Esta relación no solo intensifica los procesos relacionados con el clima —como los patrones de lluvia erráticos y el aumento de los riesgos de incendios forestales debido a sequías prolongadas—, sino que también impacta directamente en los medios de subsistencia de las comunidades amazónicas. Las amenazas que esto representa para el bioma amazónico son profundas y exigen una respuesta urgente y coordinada. Las tecnologías digitales han sido, y siguen siendo, herramientas fundamentales para comprender, predecir y mitigar estas amenazas. Sin embargo, para aprovechar plenamente su valor se requiere la presencia de factores habilitantes críticos y apoyo institucional. El acceso confiable a la electricidad y a la infraestructura digital y de datos es fundamental, ya que permite la transmisión y el almacenamiento de datos captados por los dispositivos, su análisis a través de distintos programas y su presentación al usuario en un formato seguro, accesible y fácil de usar. Asimismo, es imprescindible gestionar adecuadamente la recopilación o generación, el procesamiento y el uso de los datos climáticos a fin de garantizar que estos puedan aprovecharse al máximo para promover los objetivos de adaptación y mitigación. Esto implica establecer normas, reglas, estándares e instituciones que favorezcan un mejor acceso a datos de calidad de diferentes fuentes, y garantizar que se utilicen y compartan de manera confiable y respetando los derechos involucrados. Para gestionar los datos de manera responsable, también puede ser necesario regular la forma en que se implementan las tecnologías y las aplicaciones, especialmente cuando recopilan o generan datos confidenciales, por ejemplo a través de herramientas de monitoreo.

El propósito de este informe es explorar el papel transformador que las tecnologías digitales pueden desempeñar en el monitoreo del cambio climático, y examinar qué se necesita para garantizar que estas soluciones sean sostenibles a lo largo del tiempo. En él se identifican tres componentes esenciales para aprovechar todo el valor de las soluciones de innovación digital en el monitoreo climático: las tecnologías digitales para la conservación y el desarrollo sostenible, la infraestructura y la conectividad, y la gobernanza de datos. En vista de los entornos propicios únicos que deben tenerse en cuenta, estos componentes esenciales no se presentan en un orden secuencial específico, dado que su capacidad para respaldar con éxito los esfuerzos de conservación depende de su interdependencia.

En este documento no se pretende detallar los impactos del cambio climático en la Amazonía, ni describir la gran variedad de enfoques de conservación que se están adoptando actualmente a nivel regional y local, ya que esta cuestión se aborda de forma más que suficiente en otros trabajos de diversas partes interesadas, algunos de los cuales se mencionan en este informe. Por el contrario, se hace hincapié exclusivamente en cómo garantizar que las tecnologías digitales de monitoreo sean accesibles y puedan utilizarse de manera sostenible, de modo que resulten verdaderamente eficaces para la conservación y el desarrollo sostenible de la Amazonía en un mundo que cambia con suma rapidez.

Este informe tiene como objetivo orientar a los responsables de formular políticas, los donantes, la sociedad civil y los actores del sector privado en el fortalecimiento de los esfuerzos de monitoreo en el bioma amazónico mediante la adopción y el uso eficaz de tecnologías digitales para la conservación.

Se basa en una combinación de investigación documental y una amplia interacción de las partes interesadas con 40 actores diferentes (véase el apéndice A). Además, en él se incorporan perspectivas de expertos en biodiversidad y gestión de datos, y de representantes de comunidades indígenas.

Recuadro 1: Comprender los términos clave: Amazonía, bioma amazónico y cuenca del Amazonas

A menudo se utilizan diferentes términos de manera indistinta para describir la región amazónica, aunque se refieren a áreas geográficas y ecológicas distintas pero superpuestas.



Nota: El verde claro marca los límites del bioma amazónico. El verde oscuro marca los límites de la cuenca del Amazonas. Fuente: Data Basin, RAISG (2024).

Amazonía: Término amplio que puede referirse a la región en su conjunto, que abarca el río Amazonas, sus bosques y los sistemas humanos y ecológicos circundantes. A menudo se utiliza en un sentido general para describir el paisaje cultural, ambiental y económico asociado con el bosque tropical más grande del mundo.

Bioma amazónico: Se refiere al área ecológica caracterizada por la vegetación de bosque tropical, la biodiversidad y las condiciones climáticas típicas de la Amazonía. El bioma incluye áreas que comparten ecosistemas similares pero que no son necesariamente parte de la cuenca hidrológica.

Cuenca del Amazonas: Se refiere específicamente a la cuenca hidrológica drenada por el río Amazonas y sus afluentes, el sistema fluvial más grande del mundo por superficie de descarga y drenaje. Incluye ecosistemas de bosque tropical y otros, como sabanas y humedales.

En este informe, a menos que se especifique otra cosa, "Amazonía" se utiliza como un término general que abarca tanto el bioma amazónico como la cuenca del Amazonas, en reconocimiento de su interconexión ecológica y socioeconómica.

Impactos del cambio climático en la Amazonía

La región amazónica alberga la mayor selva tropical que queda en el mundo y sustenta al menos el 10 % de la biodiversidad mundial, incluidas numerosas especies de plantas y animales endémicas y en peligro de extinción.¹ Asimismo, es el hogar de más de 50 millones de personas, entre ellas más de 420 grupos indígenas.² Definido según criterios biogeográficos, este territorio abarca aproximadamente 6,8 millones de kilómetros cuadrados en ocho países y un territorio: Brasil, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Guyana, Suriname y Guayana Francesa.³ Caracterizado predominantemente por bosques tropicales densos y húmedos, el bioma también incluye zonas más pequeñas de vegetación diversa, como sabanas, bosques de llanura aluvial, pastizales, pantanos, bambú y bosques de palmeras. Sus cuencas hidrográficas se extienden más allá del bioma y abarcan ocasionalmente regiones adyacentes como el Cerrado.⁴ Los vastos ecosistemas terrestres y de agua dulce de la Amazonía proporcionan servicios esenciales, como el almacenamiento de carbono, la regulación hidrológica y el apoyo a la biodiversidad, a escala global, regional y local. Como uno de los principales sumideros de carbono del planeta, la región absorbe y almacena cantidades significativas de dióxido de carbono atmosférico, desempeñando un papel fundamental en los esfuerzos mundiales de mitigación del cambio climático.⁵ Además, es una importante fuente de agua dulce del mundo y cumple una función crucial en el ciclo hidrológico al mantener y reponer el suministro de agua a escala global.⁶

Los bosques y ecosistemas de agua dulce de la Amazonía, junto con los servicios ecosistémicos críticos que proporcionan a nivel global, regional y local, enfrentan amenazas significativas derivadas del cambio climático, la deforestación, la degradación, la fragmentación del hábitat, la sobreexplotación, la contaminación y la pérdida de diversidad biológica y sociológica.⁷ Durante el último medio siglo, las actividades humanas legales e ilegales han impulsado la explotación intensiva de recursos naturales renovables y no renovables. Según el Panel Científico por la Amazonía, aproximadamente el 17 % del bioma amazónico se ha deforestado y destinado a otros usos de la tierra, y otro 17 % ha sufrido degradación. La deforestación es principalmente consecuencia de las actividades humanas, entre ellas la expansión de los pastizales y las tierras de cultivo, la construcción de nuevas carreteras, los proyectos de represas hidroeléctricas, la explotación de minerales, petróleo y gas natural, los incendios forestales intencionales, la tala selectiva, la minería y la caza.

El desarrollo rural de la región ha provocado grandes cambios en la cubierta terrestre, y las prácticas agrícolas insostenibles han contribuido a la degradación ambiental a largo plazo.⁸ Por ejemplo, entre 2001 y 2018, la frontera agrícola se expandió un 220 % en áreas protegidas y el 160 % en territorios indígenas, reemplazando principalmente

superficies de bosques. La industria ganadera es la principal responsable de la deforestación en la Amazonía, ya que representa casi el 2 % de las emisiones anuales de dióxido de carbono a nivel mundial.⁹

La deforestación afecta los patrones climatológicos, dado que altera la humedad y las precipitaciones, agrava las sequías e intensifica el cambio climático.¹⁰ Estos cambios contribuyen aún más a la deforestación y al riesgo ecológico. Por ejemplo, la creciente frecuencia e intensidad de las sequías están aumentando la vulnerabilidad de la Amazonía a los incendios forestales. En 2024, se incendiaron más de 17 millones de hectáreas de tierras forestales en el estado de Amazonas (Brasil).¹¹ La pérdida continua de biodiversidad y la deforestación persistente plantean riesgos significativos que podrían desencadenar cambios irreversibles en los bosques tropicales de la región. Esta dinámica representa una amenaza no solo para la integridad ecológica de la Amazonía, sino también para su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos esenciales para la estabilidad del clima regional y global.¹²

Los territorios indígenas y las áreas protegidas forman una red de más de 6000 sitios que, en conjunto, cubren aproximadamente el 50 % de la cuenca amazónica. Estas superficies son fundamentales para los esfuerzos de conservación y para la autodeterminación y los

2 %

de las emisiones mundiales anuales de CO₂ son causadas por la deforestación derivada de la producción ganadera

420

Número de grupos indígenas que viven en la Amazonía

50 millones

Número de personas que consideran la región amazónica como su hogar

10 %

Porcentaje de la biodiversidad mundial que alberga la región amazónica

17 millones de hectáreas

Superficie de tierras forestales del estado de Amazonas (Brasil) que se incendiaron en 2024

1 Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) (sin fecha).

2 Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (2024).

3 Siguiendo criterios político-administrativos, la superficie de la región amazónica alcanza los 7,4 millones de kilómetros cuadrados (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica [OTCA], 2018).

4 Flores y otros (2010).

5 Albert y otros (2023); Araujo y Mourão (2023); Artaxo (2023); Panel Científico por la Amazonía (2021).

6 Papa y otros (2013); Araujo y Mourão (2023).

7 Araujo y Mourão (2023).

8 Nobre y otros (2016).

9 Amazon Watch (2022).

10 Panel Científico por la Amazonía (2021).

11 Mapbioma Fogo (2025).

12 Panel Científico por la Amazonía (2021).

derechos territoriales de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Presentan sistemáticamente tasas de deforestación y degradación forestal más bajas que los bosques no protegidos. Según el Panel Científico por la Amazonía (2021), entre 2000 y 2018, solo el 13 % de la superficie total deforestada en la cuenca amazónica se encontraba dentro de territorios indígenas y áreas protegidas, a pesar de que estas dos categorías cubren más de la mitad de los bosques de la región. Gestionar y proteger eficazmente estas áreas y fortalecer los derechos territoriales es fundamental para conservar el bioma amazónico y lograr una mitigación efectiva del cambio climático. Además, los territorios indígenas contribuyen a inhibir la deforestación y la propagación de incendios asociados en una zona de amortiguamiento de 10 kilómetros alrededor de sus fronteras, lo que reduce eficazmente la pérdida y la degradación de los bosques en un entorno territorial más amplio.¹³ Por último, el establecimiento de áreas protegidas también

incide de manera positiva en la reducción de la pobreza y otros indicadores económicos, gracias principalmente a la creación de empleos en la gestión de áreas protegidas, el ecoturismo y la restauración, entre otros.¹⁴

Los territorios indígenas son áreas geográficas profundamente vinculadas con las tierras ancestrales de los pueblos indígenas. La definición varía según el país.

Las áreas protegidas son espacios geográficos delimitados que se gestionan de modo tal de conservar la naturaleza, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y los valores culturales a largo plazo, limitando la explotación de los recursos y la presencia humana. La definición exacta varía según el país.

Impactos del cambio climático en los habitantes de la Amazonía

A pesar de que la protección de las tierras indígenas contribuye a reducir la deforestación, las amenazas que enfrentan los pueblos indígenas y las comunidades locales siguen siendo mayores, dado que sus viviendas y medios de subsistencia están relacionados con estas tierras. Presiones como la expansión agrícola, la minería de oro, la tala ilegal y los cultivos vinculados al narcotráfico han intensificado los desafíos que enfrentan. Esta situación pone en riesgo no solo la seguridad de las comunidades locales y los líderes ambientales, sino también la diversidad cultural de los grupos afectados. La creciente frecuencia y duración de las sequías ha agravado aún más estos problemas al reducir los niveles de las aguas continentales, elevar la temperatura del aire y provocar mortandad masiva de peces. Estos prolongados períodos de

sequía también están alterando el uso que las comunidades remotas hacen de las vías fluviales interiores para acceder a bienes y servicios, conectarse con los centros urbanos y sostener sus medios de subsistencia.¹⁵ Los efectos resultantes han disminuido significativamente la productividad de dichos medios. Según un estudio, “[d]e 2006 a 2010, un promedio anual de 540 000 personas se vieron afectadas por desastres climáticos en la Amazonía brasileña; para el período 2018-22, esa cifra se disparó a 1,78 millones al año, lo que representa un aumento del 229 %. Las pérdidas financieras aumentaron un 377 % al pasar de USD 132,8 millones por año (2006-10) a USD 634,2 millones por año (2018-22)”.¹⁶

Además de perjudicar a quienes viven en zonas rurales, las amenazas a la Amazonía se extienden a quienes han migrado a zonas urbanas y se han asentado en ellas. Más del 70 % de los 50 millones de habitantes de la Amazonía vive en ciudades, donde también enfrentan riesgos climáticos que se intensifican rápidamente.¹⁷ Por ejemplo, entre 2006 y 2022 se registraron oficialmente en toda la Amazonía brasileña casi 2000 desastres relacionados con el clima que afectaron a más de 10 millones de personas, principalmente a través de inundaciones, sequías, incendios, olas de calor y deslizamientos de tierra.¹⁸

Las amenazas ambientales en la Amazonía también tienen repercusiones a escala mundial.¹⁹ Las consecuencias de los cambios en el uso de la tierra agravan el cambio climático a nivel local, regional y mundial a través de mecanismos de retroalimentación que merman la resiliencia de los bosques. La destrucción de los ecosistemas y los mortíferos ciclos de retroalimentación están empujando rápidamente a la selva tropical hacia un “punto de inflexión” en el que los árboles serían reemplazados por praderas degradadas (punto de inflexión ecológico) y los patrones de precipitación se verían alterados (punto de inflexión climático). Esto daría lugar a cambios ecológicos irreversibles.²⁰ Una Amazonía cada vez más seca y

Gráfico I.1: Cobertura de la Amazonía



Fuente: MapBiomass (2023).

Nota: En color púrpura, áreas sin vegetación; en amarillo, áreas dedicadas a la agricultura ganadería y silvicultura; en amarillo oscuro, zonas de formación natural no forestal, y en verde, bosques.

¹³ Baragwanath y Bayi (2020).

¹⁴ Ma y otros (2020).

¹⁵ Lima y otros (2024).

¹⁶ Pinho y otros (2025).

¹⁷ Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (2024).

¹⁸ Pinho, P. F., R. Silvestrini, M. Fellows y otros, “Vulnerabilities and compound risks of escalating climate disasters in the Brazilian Amazon”, *Nature Communications* 16, 11579 (2025), <https://doi.org/10.1038/s41467-025-66603-0>.

¹⁹ Panel Científico por la Amazonía (2021).

²⁰ Shirai y otros (2024).

cálida liberaría miles de millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente a la atmósfera, agravando el calentamiento global y alterando los patrones climáticos en toda América del Sur. Otras consecuencias serían la pérdida de biodiversidad, la disminución de la capacidad de almacenamiento de carbono,

la reducción de la retención de nutrientes y suelos, y el continuo deterioro del capital natural, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano.²¹

0,54 millones
2006 a 2010

1,78 millones
2018 a 2022

Número anual promedio de personas afectadas por desastres climáticos en la Amazonía brasileña.

¿Cómo pueden las tecnologías digitales apoyar e incluso acelerar los esfuerzos de conservación en la Amazonía?

Las soluciones digitales pueden respaldar una respuesta acelerada y sistemática a los riesgos climáticos combinados que amenazan a la Amazonía (véase el cuadro 1.1). El papel de las herramientas digitales en el monitoreo y la conservación del clima en dicha región no es algo nuevo: en Brasil, el uso de imágenes satelitales para medir los cambios ambientales se remonta a la década de 1980.²² El término “conservación digital” comenzó a aparecer alrededor de 2011 y comprende la interfaz entre la tecnología digital y la conservación de la naturaleza. La aplicación de la tecnología digital ha cobrado protagonismo en la conservación de la naturaleza y abarca una amplia gama de áreas, entre ellas herramientas de monitoreo novedosas, participación pública digital, ciencia ciudadana, colaboración abierta, aprendizaje virtual, conectividad de datos, y toma de decisiones.²³ Por ejemplo, tras alcanzar su punto máximo en 2004, la deforestación en Brasil se ha reducido drásticamente debido en gran parte al monitoreo que utiliza satélites de teledetección.²⁴

Para garantizar la sostenibilidad y la capacidad de ampliación, las soluciones digitales deben nutrirse del conocimiento de los pueblos indígenas y las comunidades locales y alinearse con enfoques comunitarios. De este modo, se potenciarán y acelerarán los beneficios de las intervenciones a corto y largo plazo. Los pueblos indígenas y las comunidades locales, en asociación con las organizaciones de la sociedad civil

(OSC), emplean cada vez más las tecnologías digitales de la información y las comunicaciones para facilitar el monitoreo y la vigilancia territoriales en respuesta a las presiones, los impactos y las amenazas a su bienestar y a la conservación de la biodiversidad a nivel local.²⁵

Estos esfuerzos se apoyan en medidas existentes para respaldar iniciativas de mapeo participativo, que resultan fundamentales para demarcar los territorios indígenas.

Las tecnologías digitales pueden desempeñar un papel fundamental en el apoyo a la conservación y gestión de la Amazonía. Para ello, es importante reconocer los elementos fundamentales y fundacionales con los que se debe contar para respaldar soluciones sostenibles y ampliables.

En este informe, se tienen en cuenta las tecnologías digitales para la conservación y el desarrollo sostenible, entendidas como herramientas y aplicaciones que requieren

2000

Número de desastres relacionados con el clima registrados oficialmente entre 2006 y 2022 en toda la Amazonía brasileña, que afectaron a más de

10 millones de personas

Cuadro 1.1: Ejemplos de herramientas y tecnologías digitales de monitoreo

								
Cámaras trampa	Satélites	Análisis de datos espaciales/ software de modelización	Sistemas aéreos no tripulados	Bioacústica	Aplicaciones móviles y plataformas digitales	IA y aprendizaje automático	Sensores en red/IdC	ADN ambiental
Cámaras colocadas en áreas con vida silvestre y otras formas de biodiversidad que ayudan en la recopilación remota de datos.	Se utilizan para generar imágenes y datos a escala macro para el monitoreo de grandes superficies.	El sistema de información geográfica (SIG) es un programa informático que incluye visualización y análisis de datos.	Dispositivos que pueden sobrevolar áreas terrestres y se controlan de forma remota.	Sensores colocados en el terreno que captan y almacenan datos acústicos, que pueden utilizarse para identificar especies y patrones en diversos lugares.	Aplicaciones y plataformas que permiten a los usuarios acceder a información o herramientas que los empoderan para participar en la conservación y la restauración.	La IA es la capacidad de una máquina o computadora para emular tareas humanas mediante el aprendizaje y la automatización. El aprendizaje automático utiliza algoritmos computarizados para encontrar patrones en conjuntos de datos.	Sustentan la conexión de los ecosistemas digitales. La IdC es una red de sensores y dispositivos conectados a internet mediante wifi.	Se emplea para recopilar una amplia gama de datos sobre biodiversidad, generalmente mediante el aislamiento y la secuenciación de muestras de ADN del agua o el suelo.
Fuente: Morrell y otros (2024).								

21 Panel Científico por la Amazonía (2021).
22 Faleiros (2011).
23 Arts y otros (2015).
24 Assunção y otros (2013).
25 Soares y Donário de Azevedo (2023).

conectividad a internet para su plena utilización, o que pueden beneficiarse de ella. Se trata de un conjunto de herramientas valiosas que pueden aprovecharse para fortalecer los esfuerzos de conservación sobre el terreno, ofreciendo apoyo crucial frente a estos desafíos.

Este informe no se centra únicamente en las tecnologías como soluciones aisladas. Para ilustrarlo con mayor claridad, está organizado en torno a los tres componentes esenciales. El objetivo de este encuadre es poner de manifiesto que las tecnologías digitales por sí solas no son suficientes si no van acompañadas de un análisis riguroso de la infraestructura y las políticas necesarias para garantizar la pertinencia y durabilidad de estas soluciones. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos componentes esenciales:

Capítulo 1: Componente esencial 1

Tecnología y aplicaciones: Tecnologías y aplicaciones digitales que pueden mejorar los sistemas de monitoreo, orientar las decisiones de inversión y respaldar los objetivos de conservación a largo plazo, especialmente para los pueblos indígenas y las comunidades locales. En el capítulo 1 y en los estudios de casos correspondientes se describen ejemplos de estas tecnologías.

Capítulo 2: Componente esencial 2

La infraestructura digital: El acceso universal y confiable a la electricidad y a internet es fundamental para garantizar que las tecnologías digitales trasciendan la fase piloto y puedan ampliarse y ponerse en marcha a lo largo del tiempo. En el capítulo 2 se describen las nuevas perspectivas sobre el alcance actual de las redes digitales y las deficiencias que deben abordarse.

Capítulo 3: Componente esencial 3

Gobernanza de datos: Los datos generados por las tecnologías digitales son esenciales para proporcionar retroalimentación sobre los esfuerzos de conservación; sin embargo, son vulnerables si no se cuenta con marcos adecuados de gobernanza. En este capítulo se explica por qué dichos marcos deben desarrollarse como parte de la aplicación de políticas más amplias que respalden las tecnologías de conservación digital a nivel local y regional.

Por último, en el informe también se prioriza la relación entre las principales partes interesadas, los elementos habilitantes y los componentes esenciales: un ecosistema crítico para respaldar la sostenibilidad y la capacidad de ampliación de las tecnologías digitales aplicadas a la conservación.

Recuadro 2: Brasil da vuelta la página en 2004

En 2004, tras varios años de deforestación particularmente rápida, la presión pública provocó un cambio de rumbo. Ese fue el año en que el Gobierno brasileño adoptó una enérgica política denominada Plan de Acción para la Prevención y Control de la Deforestación en la Amazonía Legal (PPCDAm). El Gobierno creó una amplia red de parques nacionales y estatales, estableció territorios protegidos para grupos indígenas, reforzó los organismos de control ambiental, dificultó la exportación de bienes producidos en tierras deforestadas ilegalmente y fortaleció los sistemas de monitoreo satelital.

Fuente: Volland (2019).

Gráfico I.2: Componentes esenciales para potenciar y sostener las tecnologías digitales

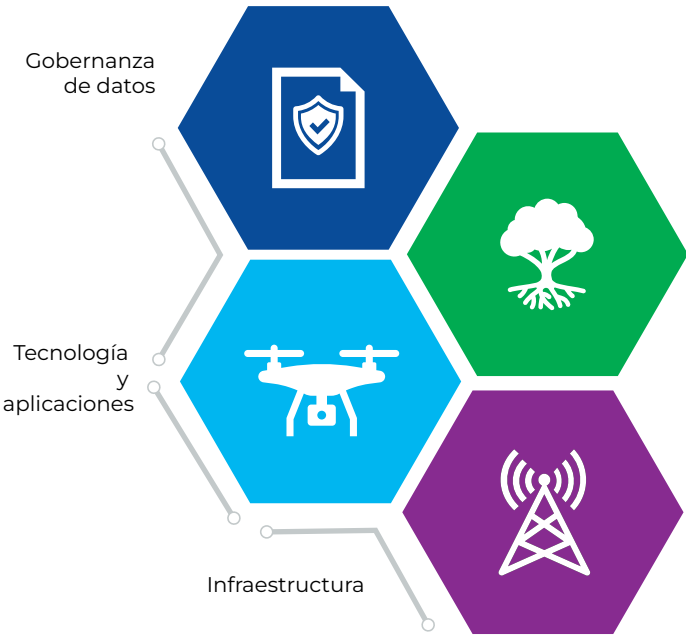
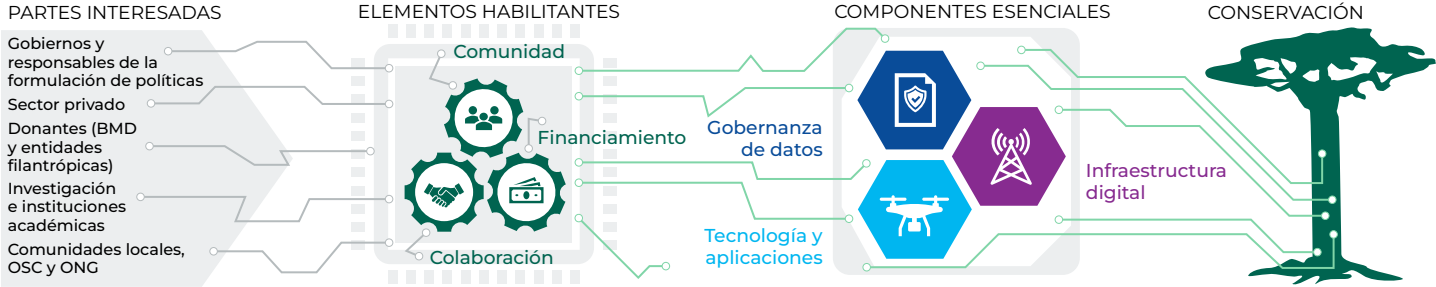


Gráfico I.3: Apoyo a la tecnología digital para la conservación





CAPÍTULO 1

Tecnologías digitales para monitorear el medio ambiente en la Amazonía

Principales colaboradores: Niccolò Comini, Felipe Spina Avino



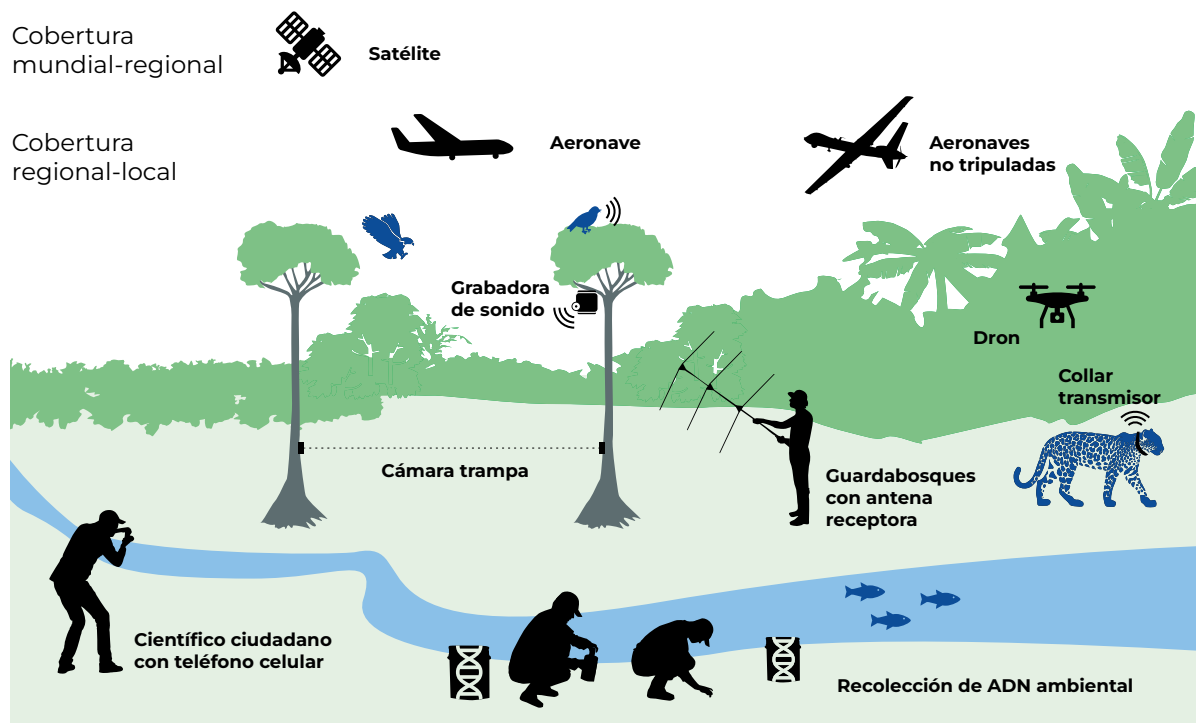
Las tecnologías digitales de monitoreo de la conservación desempeñan un papel fundamental en la protección y preservación de los recursos naturales del bioma amazónico, ya que contribuyen a generar datos que permiten identificar qué debe protegerse y cómo. Es fundamental comprender los diversos tipos de tecnologías que pueden aprovecharse, su funcionamiento y, en última instancia, cómo responden a las necesidades de las comunidades locales. Para entender esto último también es necesario tener en cuenta la función del entorno propicio en el que deben operar las tecnologías digitales, incluida la manera en que deben gestionarse los datos recopilados o generados por estas tecnologías para que puedan utilizarse en la conservación y en otras iniciativas de adaptación y mitigación climáticas.

La creciente sofisticación de las tecnologías digitales de conservación permite realizar un monitoreo más frecuente, a gran escala y de alta resolución del entorno natural, incluso en lugares remotos o peligrosos. Estas herramientas también permiten el análisis en múltiples escalas temporales — desde observaciones en tiempo casi real hasta tendencias ambientales a largo plazo— y proporcionan información sobre ecosistemas que antes eran difíciles de observar. Cuando se implementan de manera inclusiva, permiten empoderar a los pueblos indígenas y las comunidades locales fortaleciendo su papel en la gestión de la conservación. El monitoreo oportuno, preciso y eficiente resulta esencial para

evaluar la eficacia de las iniciativas de conservación de los bosques y las políticas de reducción de emisiones, y para seguir de cerca los avances hacia el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de biodiversidad, entre ellos las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica.²⁶

Es fundamental distinguir entre las tecnologías diseñadas para mitigar comportamientos humanos y actividades ilegales que agravan el daño directo al bioma amazónico y aquellas que evalúan el impacto directo del cambio climático. Si bien en esta sección se describen tecnologías diseñadas para analizar ambas actividades, el énfasis, en consonancia con el tema de este informe, está puesto en aquellas tecnologías que permiten monitorear los impactos del cambio climático. En este capítulo se examinan las tecnologías digitales existentes para la recopilación y el procesamiento de datos implementadas en la Amazonía. La metodología empleada consistió en examinar el uso de los sistemas, herramientas y dispositivos digitales existentes mediante investigación documental y una amplia interacción con las partes interesadas, que incluyó entrevistas a 40 actores distintos y unas 100 personas en 5 países amazónicos: Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, y con las partes interesadas regionales de la Amazonía. Entre las partes interesadas se incluyeron instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales (ONG), organizaciones de pueblos indígenas y comunidades locales, así como

Gráfico 1.1:
Ejemplos
de tecnologías
digitales para
la conservación



Fuente: Turner (2014).

26 Convenio sobre la Diversidad Biológica (2020).

instituciones académicas, coaliciones y otras entidades (en el apéndice A se incluye la lista completa de las organizaciones

entrevistadas). Las consultas se realizaron tanto en línea como en persona entre abril de 2024 y mayo de 2025.

¿Qué se monitorea?

Las tecnologías digitales de conservación permiten monitorear, entre otras cosas, lo siguiente:

La cubierta forestal: La deforestación sigue siendo una de las amenazas más graves para el bioma amazónico, impulsada por la tala ilegal, la expansión agrícola y el desarrollo de infraestructura, y contribuye al cambio climático. El monitoreo de la deforestación y la degradación forestal, la restauración de los bosques y la gestión sostenible de los ecosistemas forestales son estrategias esenciales no solo para hacer frente al cambio climático preservando y mejorando los sumideros de carbono, sino también para salvaguardar la biodiversidad, proteger los servicios ecosistémicos y apoyar los medios de subsistencia de millones de personas que dependen de los bosques. Entre los principales tipos de monitoreo forestal a considerar se encuentran:

- **La tala rasa y la tala selectiva:** se refieren a operaciones de tala rasa a gran escala y a actividades de tala selectiva más sutiles.
- **La degradación y la sanidad forestal:** se refieren al deterioro de la calidad de los bosques debido a las actividades humanas, entre ellas la contaminación y la tala.
- **El monitoreo de bosques secundarios:** se refiere a la regeneración de bosques secundarios, que a menudo se produce en áreas previamente taladas para uso agrícola o forestal.

Los incendios: Los incendios en la Amazonía representan una amenaza creciente y son causados casi en su totalidad por actividades humanas como el desmonte de tierras. Agravados por las sequías extremas relacionadas con el cambio climático, se están volviendo cada vez más destructivos y se propagan rápidamente por grandes extensiones, incluidos bosques que nunca antes se habían visto alterados.²⁷ La repetición de estos incendios provoca cambios permanentes en la estructura forestal, convirtiendo áreas que antes eran exuberantes en paisajes degradados con menos capacidad para albergar biodiversidad o absorber carbono.²⁸ Dado que los bosques tropicales no están adaptados al fuego, un solo incendio de sotobosque puede matar una gran proporción de árboles y aumenta considerablemente la probabilidad de que el bosque vuelva a arder. Los bosques quemados dos veces o más se convierten en pastizales degradados. Los datos satelitales pueden ayudar a anticipar estas amenazas y responder a ellas mediante tecnologías como el índice de

vegetación de diferencia normalizada, un índice de detección remota que aprovecha los datos satelitales para medir la sanidad vegetal y determinar el riesgo de incendios forestales y la recuperación del ecosistema tras un incendio forestal.²⁹ Estas herramientas, junto con soluciones basadas en inteligencia artificial (IA), como FireSat, podrían generar respuestas más rápidas a los brotes de incendios, ayudando a minimizar los daños y prevenir la pérdida de grandes extensiones de bosque. El monitoreo y las evaluaciones posteriores a los incendios incluyen el seguimiento de las cicatrices de quema y la erosión del suelo para evaluar los daños causados por los incendios forestales a la sanidad del suelo y al almacenamiento de carbono. Estos datos ayudan a orientar los esfuerzos de reforestación y respaldan la restauración de tierras degradadas.

Reservas de carbono y monitoreo del suelo: El monitoreo de las reservas de carbono, especialmente en las zonas afectadas por la deforestación y los incendios, es esencial para evaluar la contribución de los bosques al ciclo global del carbono y su potencial para mitigar el cambio climático. Las herramientas avanzadas —como la teledetección, los métodos de campo y los enfoques de modelización— permiten medir los cambios en el almacenamiento de carbono a lo largo del tiempo y pueden orientar estrategias para proteger y mejorar este servicio ecosistémico vital. Los datos recopilados son fundamentales para orientar estrategias de gestión del carbono que ayuden a garantizar que el bioma amazónico siga siendo un importante sumidero de carbono.

Deforestación ilegal en el territorio indígena de Pirititi, Roraima



Fotografía: Felipe Werneck (IBAMA).

²⁷ Goldman y otros (2025); MacCarthy y otros (2024).

²⁸ Panel Científico por la Amazonía (2021).

²⁹ Rakholia y otros (2021).

Biodiversidad: La pérdida de hábitat y la consiguiente disminución de las poblaciones de especies reducen la resiliencia general de los ecosistemas amazónicos. Además, la pérdida de especies clave —aquellas que desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la estructura de un ecosistema— puede provocar efectos en cascada que perturben a comunidades ecológicas enteras. La cuantificación de la biodiversidad plantea desafíos importantes debido a su naturaleza intrínsecamente compleja y no estandarizada. A diferencia de fenómenos como el peso, la temperatura o las dimensiones, que cuentan con unidades de medida uniformes, la biodiversidad carece de una métrica equivalente. Si bien el recuento o la diversidad de especies pueden servir como indicadores indirectos, el concepto de "especie" en sí mismo no es una unidad homogénea: cada especie presenta sensibilidades, grados de rareza, áreas de distribución y conectividad ecológica propios. Los esfuerzos por establecer parámetros de biodiversidad estandarizados, como la abundancia media de especies y la reducción de amenazas y recuperación de especies, ofrecen herramientas prometedoras para evaluar el estado y las tendencias de la biodiversidad.³⁰

Monitoreo del clima, la calidad del aire y el estado del tiempo: Aunque limitado, el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire —que incluye los niveles de contaminación, el humo de los incendios y las concentraciones de gases de efecto invernadero— proporciona datos fundamentales para evaluar el estado de la atmósfera en la Amazonía y su capacidad de absorber emisiones de carbono. Por ejemplo, en algunos lugares, sensores de calidad del aire como PurpleAir ayudan a medir las concentraciones de material particulado en suspensión en tiempo real. Sin embargo, su aplicación ha sido limitada y, en algunos casos, se ha descontinuado.

Monitoreo hidrológico y de la calidad del agua: El monitoreo eficaz de la calidad del agua y la dinámica hidrológica es esencial para gestionar los recursos ecológicos vitales de la Amazonía, predecir los cambios ambientales y mitigar los riesgos del cambio climático. El monitoreo hidrológico se enfoca en seguir de cerca los cambios en la extensa red fluvial de la Amazonía. Las tecnologías avanzadas, como la altimetría satelital y los sistemas Doppler³¹, permiten medir los niveles del agua, los caudales y las variaciones en la cobertura durante fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones y sequías. Estas herramientas proporcionan datos fundamentales que ayudan a predecir eventos hidrológicos, gestionar los recursos hídricos de manera eficaz y comprender las implicaciones más amplias del cambio climático en los sistemas hídricos de la región.

Actividad humana: Si bien este informe se centra principalmente en el uso de tecnologías digitales para monitorear los efectos del cambio climático, es importante señalar que también se utilizan ampliamente tecnologías similares para rastrear otras actividades de origen humano y sus consecuencias ambientales que exceden el alcance de este análisis.

- **Actividades ilícitas, como la minería, el acaparamiento de tierras y la producción ilícita de cultivos:** Estas actividades representan importantes desafíos para la conservación del bioma amazónico, y causan daños ambientales de gran magnitud, entre ellos la deforestación, la contaminación del

agua y el desplazamiento de comunidades indígenas. El monitoreo ambiental integral es esencial para hacer cumplir las regulaciones ambientales y proteger a la Amazonía de las actividades ilegales. En el marco de programas como Brasil MAIS (Medio Ambiente Integrado y Seguro) de la Policía Federal de Brasil se utilizan imágenes satelitales de alta resolución, IA y otras tecnologías para monitorear diversos factores ambientales, como la deforestación, la minería ilegal, la conversión de tierras para uso agrícola, las pistas de aterrizaje clandestinas y la producción ilícita de cultivos.³² Otro ejemplo es el Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina (MAAP), desarrollado por la Asociación para la Conservación de la Amazonía, que utiliza tecnologías satelitales de múltiples fuentes para proporcionar información práctica en tiempo real sobre la deforestación y los incendios en toda la cuenca amazónica. Al abarcar toda la Amazonía, el MAAP permite una detección y una respuesta rápidas, brindando apoyo a los Gobiernos, las comunidades locales y la sociedad civil. Además de rastrear las amenazas ambientales urgentes, también genera análisis estratégicos

Tala ilegal en el territorio indígena de Pirititi, en Roraima (Brasil)



Fotografía: Felipe Werneck (IBAMA).

³⁰ Schipper y otros (2019); Mair y otros (2021).

³¹ Estos sistemas utilizan el efecto Doppler para medir la velocidad del caudal de agua transmitiendo ondas sonoras y analizando los cambios de frecuencia de las señales reflejadas.

³² Policía Federal (2024); Planet (2022).

sobre temas críticos como los puntos de inflexión de los ecosistemas, la expansión de carreteras, las emisiones de carbono y los impactos climáticos. Sus informes, de fácil acceso, ayudan a orientar a los responsables de la toma de decisiones, las autoridades encargadas de hacer cumplir la ley, los investigadores, y el público en general, promoviendo la adopción de medidas basadas en evidencias para combatir la deforestación ilegal. Estos programas generan alertas e informes que permiten respuestas rápidas ante delitos ambientales y respaldan la aplicación de las leyes ambientales en grandes extensiones de la Amazonía.

- **Protección sociocultural y comunitaria de los recursos:**

El monitoreo de los recursos comunitarios es esencial para comprender y mitigar las repercusiones del cambio ambiental en los activos naturales que constituyen la base de los medios de subsistencia locales. Esto incluye el seguimiento de la disponibilidad y la calidad de recursos esenciales como el agua potable, las tierras agrícolas fértiles y los productos forestales fundamentales para la alimentación,

Minería ilegal en el Parque Nacional Jamaxin, una zona protegida de Brasil



Fotografía: Felipe Werneck (IBAMA).

la medicina y los medios de subsistencia. El mapeo participativo biocultural³³, por ejemplo, es un enfoque clave para involucrar a los pueblos indígenas y las comunidades locales en el relevamiento de sitios de importancia cultural, agrícolas, sagrados y de otro tipo considerados vitales dentro de sus territorios. Este proceso colaborativo permite documentar las dimensiones geográficas y culturales de estas áreas y sirve como herramienta para protegerlas de amenazas externas como el acaparamiento de tierras, la deforestación, el desarrollo de infraestructura y la extracción de recursos. Al preservar los conocimientos y prácticas tradicionales, se empodera a las comunidades para que ejerzan un mayor control sobre sus tierras y recursos, lo que fortalece su capacidad de gestionar y conservar sus territorios en consonancia con sus valores culturales.

- **Ampliación de la infraestructura y cumplimiento de la legislación ambiental:** El desarrollo de infraestructura en la Amazonía, como la construcción de carreteras, pistas de aterrizaje, represas y puertos, conlleva importantes desafíos ambientales y sociales. El monitoreo de los efectos ambientales de estas actividades es crucial para mitigar los resultados adversos, asegurando el cumplimiento de las regulaciones y salvaguardando la integridad ecológica de la región. El seguimiento de la expansión de los proyectos de infraestructura reviste particular importancia en áreas protegidas y ecológicamente sensibles, y suele llevarse a cabo combinando imágenes satelitales con relevamientos de campo.

- **Trazabilidad de la cadena de suministro y uso y tenencia de la tierra:** El monitoreo eficaz de las prácticas de la cadena de suministro y del uso de la tierra es esencial para reducir los efectos ambientales, promover el desarrollo sostenible y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Los datos generados por estos sistemas de monitoreo respaldan la toma de decisiones informadas de empresas y responsables de formular políticas, lo que les permite hacer cumplir las normas ambientales y promover prácticas de abastecimiento sostenible. La Amazonía es una región crítica para las cadenas de suministro mundiales, sobre todo para productos básicos como la soja y la carne vacuna, que contribuyen en gran medida a la deforestación. Los sistemas de monitoreo rastrean los cambios en el uso de la tierra vinculados a la expansión de las explotaciones agropecuarias con el fin de eliminar de estas cadenas de suministro las actividades relacionadas con la deforestación.

El monitoreo de la tenencia de la tierra es fundamental para combatir la deforestación, la degradación de los ecosistemas y el cambio climático, al tiempo que protege a los pueblos indígenas y las comunidades locales. Tecnologías digitales como los sistemas catastrales satelitales y los registros de tierras protegidos por cadenas de bloques permiten crear un registro fidedigno y actualizado del uso de la tierra. Cuando se combinan con información de monitoreo en tiempo real, pueden ayudar a detectar la ocupación ilegal y usurpación de tierras y la deforestación no autorizada. Estas herramientas mejoran la transparencia, respaldan la aplicación de la ley, orientan la planificación del uso de la tierra y los esfuerzos de conservación, y permiten a las comunidades documentar sus territorios tradicionales, monitorear los cambios ambientales y defender sus derechos sobre la tierra.

33 Cusens, J., A. M. D. Barraclough e I. E. Måren (2022), "Participatory mapping reveals biocultural and nature values in the shared landscape of a Nordic UNESCO Biosphere Reserve", *People and Nature*, 4, 365-381, <https://doi.org/10.1002/pan.310287>.

¿Cómo se monitorea? Evaluación de actividades digitales prometedoras

En esta sección se analizan algunas de las numerosas y prometedoras tecnologías digitales de conservación que utilizan actualmente las partes interesadas en el bioma amazónico, así como su eficacia para respaldar el monitoreo climático y la adaptación al cambio climático. Dichas tecnologías abarcan un continuo de escalas espaciales, desde soluciones a escala macro, como los satélites hasta tecnologías de detección a escala micro, como los sensores acústicos desplegados en el terreno.

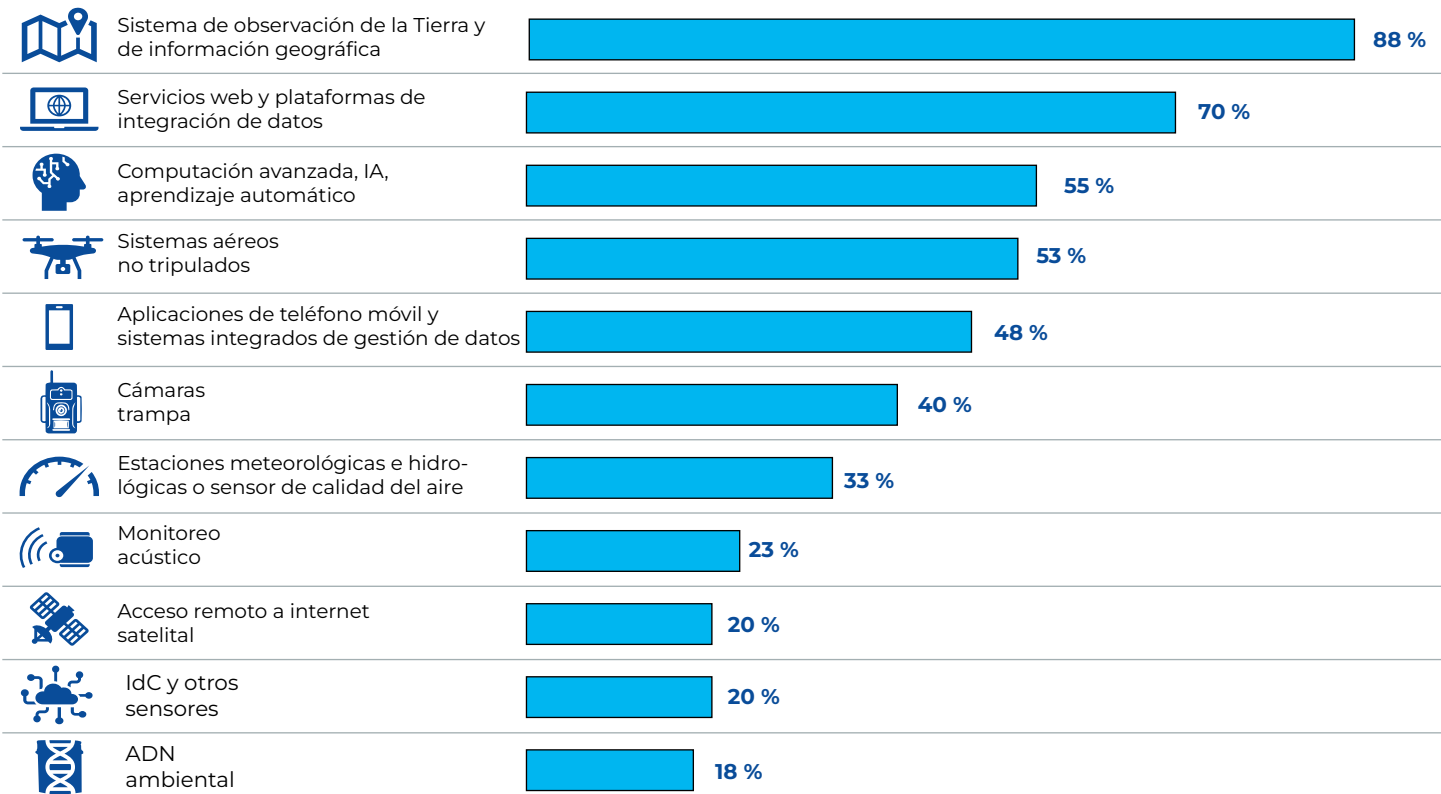
Sistema de observación de la Tierra y de información geográfica: El potencial de los sistemas de información geográfica (SIG) y de la información satelital en el monitoreo del bioma amazónico es enorme. Los continuos avances en tecnología satelital, entre ellos imágenes diarias de mayor resolución, imágenes multiespectrales y térmicas, e imágenes de radar para superar los problemas de cobertura nubosa (como el radar de apertura sintética y la detección y localización por ondas lumínicas [LiDAR]), mejoran significativamente la capacidad de monitorear los cambios ambientales a escala de paisaje. La información satelital, en particular la proveniente de plataformas como Sentinel, Landsat, MODIS y Planet, es un pilar fundamental de los esfuerzos de monitoreo del bioma amazónico.

Se utilizan ampliamente diferentes portales de observación de la Tierra para el mapeo y análisis de datos espaciales. Estas herramientas permiten a las partes interesadas realizar evaluaciones ambientales integrales, monitorear cambios, planificar estrategias de conservación y responder a actividades ilegales en tiempo casi real. La IA y la computación en la nube fortalecen los esfuerzos de conservación, contribuyendo a que el monitoreo de la Amazonía sea más preciso y proactivo. Entre los ejemplos

se encuentra el Instituto Nacional de Investigación Espacial (INPE), que gestiona sistemas clave de monitoreo de la deforestación, como el PRODES y el Sistema de Detección de la Deforestación en Tiempo Real (DETER), que generan alertas para el control y cumplimiento ambiental. Portales de libre acceso como TerraBrasilis, Global Forest Watch y MapBiomas Alerta ofrecen datos procesados de observación de la Tierra, lo que aumenta la accesibilidad.

Vigilancia aérea y sistemas aéreos no tripulados: Los sistemas aéreos no tripulados (UAS), que incluyen los drones, se han convertido en una poderosa herramienta para el monitoreo ambiental en la Amazonía, ya que proporcionan datos de alta resolución que complementan las imágenes satelitales y mejoran la seguridad del personal de primera línea, y de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Su capacidad para captar detalles de hasta 3-10 centímetros por píxel los hace invaluable para identificar elementos críticos de riesgo climático, como zonas inundables, áreas propensas a deslizamientos de tierra y amenazas de deforestación. Equipados con sensores diversos —ópticos, multiespectrales, térmicos y LiDAR—, los drones pueden utilizarse para diversos propósitos: desde el seguimiento de la pérdida forestal y la evaluación de reservas de carbono hasta el relevamiento de fauna silvestre y el mapeo de áreas degradadas. Su flexibilidad permite un monitoreo eficaz de regiones remotas o inaccesibles: los drones multirrotor son adecuados para áreas más pequeñas y despliegues rápidos, mientras que los modelos de ala fija cubren mayores distancias con tiempos de vuelo más prolongados. A pesar de desafíos como las restricciones regulatorias, la autonomía limitada de la batería y la necesidad de herramientas especializadas de análisis de datos como DroneDeploy y Pix4D, los continuos avances en IA,

Gráfico 1.2: Tecnologías más utilizadas para la conservación en la Amazonía



Fuente: Análisis de los autores:

Nota: Porcentaje de partes interesadas consultadas que utilizan tecnologías digitales. N=40.

Recuadro 3: Drones para apoyar la protección de los territorios indígenas en Brasil

El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), por ejemplo, ha proporcionado drones a comunidades indígenas, como la Asociación de Defensa Etnoambiental Kanindé, que les permiten monitorear vastas áreas de sus territorios sin exponerse a los peligros de la confrontación directa con leñadores ilegales o usurpadores de tierras. Las imágenes de alta resolución y los datos de GPS recopilados por estos drones se combinan con datos de teledetección y datos

recogidos sobre el terreno, y se han utilizado como prueba para denunciar actividades ilegales ante las autoridades, lo que ha dado lugar a medidas de cumplimiento más eficaces. Para obtener más información, véase "Estudio de caso 1: Uso de tecnologías para apoyar el monitoreo y la protección territorial indígena".

Fuente: Kanindé (2024); Brasil (2024); Pfeifer (2020).

aprendizaje automático y procesamiento de datos en tiempo real siguen consolidando su protagonismo en los esfuerzos de conservación, cumplimiento ambiental y resiliencia climática en toda la Amazonía.

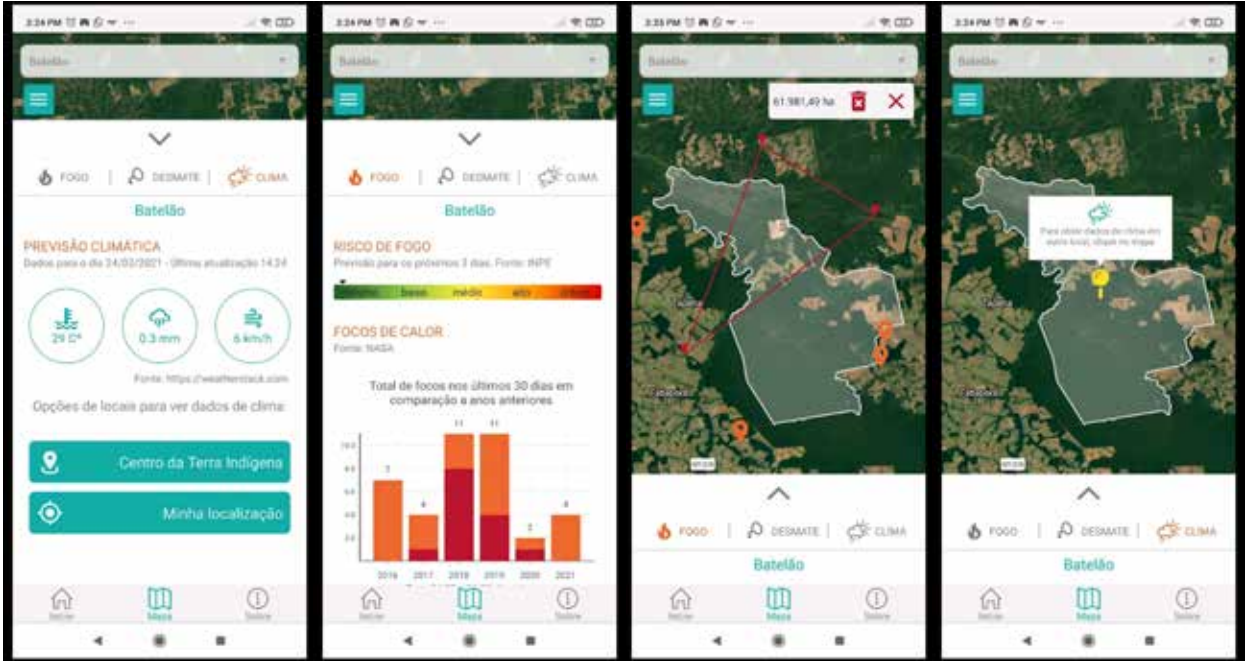
Estaciones meteorológicas e hidrológicas: El acceso a datos climáticos e hídricos confiables es esencial para los esfuerzos de conservación y resiliencia climática, pero sigue siendo un desafío debido a las brechas de infraestructura, los altos costos y la accesibilidad limitada. Si bien las redes de monitoreo internacionales, nacionales y locales desempeñan un papel fundamental en el seguimiento de los cambios ambientales, muchas partes interesadas aún dependen de la recopilación manual de datos, lo que retrasa las respuestas en tiempo real. Ampliar el despliegue de estaciones meteorológicas automáticas y sensores de calidad del aire —como los utilizados en iniciativas como OASIS en Perú para el monitoreo de sequías y SONICS para el seguimiento de inundaciones— puede mejorar significativamente la precisión de los pronósticos y la preparación ante desastres. En Colombia y Perú, agencias como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), respectivamente, operan amplias redes de estaciones meteorológicas automáticas, mientras que proyectos innovadores como la estación AJAYU de Bolivia, ensamblada localmente con tecnología de código abierto, contribuyen a que el monitoreo sea más asequible y accesible.

Aplicaciones para teléfonos móviles: Las aplicaciones para teléfonos móviles, o apps, se han convertido en herramientas esenciales para la recopilación de datos en campo y el monitoreo ambiental en la Amazonía, ya que suelen mejorar la precisión, la eficiencia y la accesibilidad de la recopilación de datos, particularmente en zonas remotas. Las aplicaciones móviles diseñadas para la ciencia ciudadana han permitido que personas que no son especialistas participen en la recopilación de datos, ampliando el alcance y la escala de los esfuerzos de monitoreo ambiental. El uso de la tecnología móvil en la región amazónica también ha fortalecido iniciativas de conservación dirigidas por la comunidad. Dotar a las comunidades indígenas de teléfonos inteligentes y aplicaciones especializadas les ha permitido monitorear y denunciar actividades de deforestación ilegal de manera eficaz. Por ejemplo, Alerta Clima Indígena (ACI) es una aplicación desarrollada por el Instituto de Investigación Ambiental de la Amazonía (IPAM) con el objetivo de ampliar la difusión de información sobre incendios, deforestación, precipitaciones y temperatura en las tierras indígenas de la Amazonía brasileña. Otro ejemplo es la herramienta de monitoreo espacial y notificación (SMART), un *software* gratuito y de código abierto desarrollado para mejorar la gestión y salvaguarda de áreas protegidas y territorios indígenas, utilizado por guardabosques y vigiladores de pueblos indígenas y comunidades locales en países como Perú, Colombia, Brasil y Ecuador.³⁴ Este enfoque fortalece la protección de ecosistemas vitales y fomenta una mayor participación comunitaria en los esfuerzos de conservación, mejorando la eficacia de la gestión de las áreas protegidas.

Ejemplo de aplicación para teléfonos móviles

Alerta Clima Indígena, una aplicación desarrollada por el IPAM con el objetivo de ampliar la difusión de información sobre incendios, deforestación, precipitaciones y temperatura en las tierras indígenas de la Amazonía brasileña.

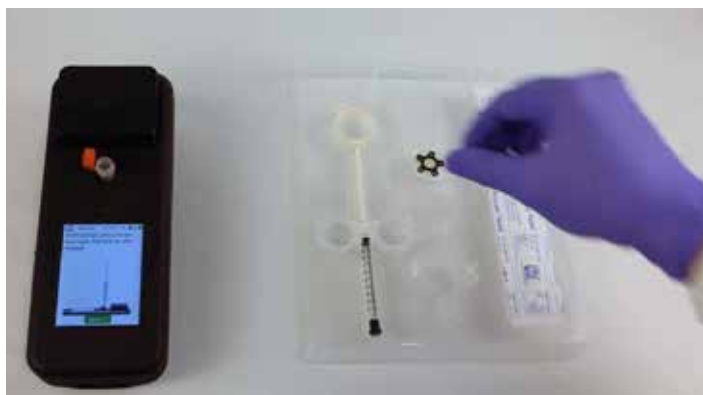
Fuente de la imagen: IPAM.



34 WWF (s. f); Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP]) (2024); Kanindé (2024); Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Amazonas (SEMA-AM) (2024); Brasil (2024); SERNANP (2016).

ADN ambiental y código de barras de ADN: Se trata de tecnologías emergentes y no invasivas que permiten a los investigadores detectar especies a partir de fragmentos de ADN presentes en el suelo, el agua o el aire. Este método permite monitorear la biodiversidad en vastas regiones como la Amazonía, y ayuda a identificar especies difíciles de observar con los métodos de estudio tradicionales, como los animales nocturnos o crípticos. El ADN ambiental es particularmente valioso para rastrear especies raras, en peligro de extinción o invasoras, y evaluar la salud de los ecosistemas a lo largo del tiempo.

Nabit, dispositivo de ADN ambiental



Fuente: Conservation X Labs.



El ADN ambiental es particularmente valioso para rastrear especies raras, en peligro de extinción o invasoras, y evaluar la salud de los ecosistemas a lo largo del tiempo.

Una de sus principales ventajas es su capacidad para monitorear grandes áreas con una infraestructura mínima, por lo que resulta ideal para regiones remotas. En varios proyectos piloto en la Amazonía se ha utilizado con éxito, en ocasiones combinado con otras tecnologías como imágenes satelitales, cámaras trampa y monitoreo acústico, para proporcionar una visión más completa de la biodiversidad.³⁵ Sin embargo, persisten desafíos, como la

necesidad de contar con laboratorios especializados y amplias bases de datos de especies, y la gestión de los factores ambientales que pueden afectar la degradación del ADN. En el marco de iniciativas como eBioAtlas se está trabajando para crear repositorios globales de acceso abierto para datos de ADN ambiental, lo que contribuye a superar estos desafíos. Otro ejemplo innovador es la herramienta de identificación mediante código de barras de ácido nucleico, desarrollada por Conservation X Labs, un dispositivo portátil de bajo costo que lleva el laboratorio de genética al terreno. Se trata de una herramienta sencilla que permite a los usuarios verificar la identidad de la fauna silvestre o los productos alimenticios en cualquier parte del mundo sin necesidad de capacitación especializada, equipos de laboratorio, reactivos ni suministro eléctrico continuo. A pesar de los altos costos y las complejidades técnicas, el ADN ambiental y el código de barras de ADN muestran un potencial considerable para intensificar los esfuerzos de conservación, dado que proporcionan información valiosa sobre la distribución de las especies y la salud de los ecosistemas.

Cámaras trampa: Las cámaras trampa se han convertido en una herramienta fundamental para monitorear la vida silvestre, evaluar la biodiversidad y detectar actividades ilegales en la Amazonía. Estos dispositivos activados por movimiento proporcionan una forma no invasiva de documentar especies, rastrear tendencias poblacionales y apoyar los esfuerzos de conservación. Especialmente útiles para el estudio de especies esquivas como el jaguar y el armadillo gigante, las cámaras trampa ofrecen una solución para monitorear zonas extensas y remotas. Asimismo, involucran a las comunidades locales, fomentando la conciencia ambiental y fortaleciendo la gestión de la conservación. Si bien los modelos básicos almacenan datos en tarjetas de memoria, las versiones avanzadas ofrecen transmisión de imágenes en tiempo real, aunque su uso puede verse dificultado por limitaciones de conectividad en áreas remotas. Actualmente se están implementando soluciones emergentes, como la red de área amplia de largo

Recuadro 4: El Programa ASL del Banco Mundial

Cuando se ubica correctamente, una sola cámara trampa puede generar miles de imágenes en cuestión de semanas. Sin embargo, gran parte de estos datos no se aprovechan debido a las dificultades vinculadas con la organización, el análisis y el acceso, especialmente para las comunidades locales y las personas que no son expertas. A fin de hacer frente a los desafíos que conlleva el procesamiento de los datos de las cámaras trampa, en el Programa Paisajes Sostenibles de la Amazonía (ASL), de alcance regional, se reconoció la necesidad de contar con una herramienta analítica específica y se colaboró con el desarrollo de Wildlife Insights, con el objetivo de respaldar la toma de decisiones referidas a la conservación.

Financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y dirigido por el Banco Mundial, el ASL promueve la gestión integrada del paisaje y la conservación de los ecosistemas en áreas prioritarias de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú y Suriname

alcance (LoRaWAN) (véase el recuadro 7), para dar respuesta a la necesidad de transmitir datos a grandes distancias con un consumo mínimo de energía. Sentinel de CXL sortea algunos de estos desafíos al procesar imágenes mediante IA en el propio dispositivo, lo que reduce el volumen de datos que deben transmitirse, ya que solo se envían los resultados pertinentes. Los datos recopilados por las cámaras trampa pueden integrarse con los captados por drones y sensores acústicos para mejorar aún más el monitoreo de la biodiversidad. A pesar de desafíos como los grandes volúmenes de datos, las fallas de los equipos y las dificultades logísticas en condiciones adversas, las cámaras trampa siguen siendo un pilar fundamental del monitoreo a largo plazo, y herramientas basadas en IA como Wildlife Insights ayudan a automatizar la gestión de datos y la identificación de especies, haciendo que los esfuerzos de conservación sean más eficientes.

Monitoreo acústico: El monitoreo acústico es una tecnología emergente que se utiliza para captar y analizar los sonidos de los ecosistemas de la Amazonía. Dispositivos como AudioMoth y Song Meter permiten a los investigadores rastrear especies de aves, anfibios, insectos y mamíferos que son difíciles de observar visualmente. Este método no invasivo ayuda a evaluar la biodiversidad, monitorear la salud de los ecosistemas y comprender los efectos de la degradación forestal. Los sensores acústicos son especialmente valiosos para estudiar

³⁵ Dyson y otros (2024).

especies nocturnas o crípticas, y pueden complementar otras herramientas de monitoreo como las cámaras trampa y el ADN ambiental para lograr un enfoque más integral. Estos sensores pueden usarse para crear conjuntos de datos a largo plazo que proporcionen un perfil continuo de la actividad animal, e incluso detectar perturbaciones de origen humano como motosierras o disparos, lo que a su vez puede contribuir a los esfuerzos de conservación. El monitoreo acústico también es crucial para rastrear especies vulnerables al cambio climático y a los incendios forestales.

Aunque los costos varían —y los modelos de código abierto son más asequibles—, persisten los desafíos de la implementación en zonas remotas, la recuperación de datos y

su procesamiento. Plataformas basadas en IA como Arbimon ayudan a automatizar la identificación de especies, aunque la complejidad de los datos y el ruido de fondo pueden complicar el análisis. Por último, es fundamental garantizar la seguridad de los datos y atender las preocupaciones relativas a su protección y a la privacidad, sobre todo en territorios de los pueblos indígenas y las comunidades locales, ya que es posible que se graben voces humanas de forma involuntaria sin la base legal adecuada (como el consentimiento previo). A pesar de estos desafíos, el monitoreo acústico puede ser una herramienta poderosa para la conservación de la biodiversidad, las evaluaciones del impacto climático y la detección de actividades ilegales y amenazas ambientales.

Herramientas de apoyo y procesamiento de datos

En esta sección se analiza de qué manera las herramientas transversales de apoyo y procesamiento de datos —como los servicios web, las plataformas de datos, la IA, la computación en la nube y la internet de las cosas (IdC)— optimizan las tecnologías digitales para el monitoreo del cambio climático. Sin embargo, cabe destacar que estos sistemas por sí solos no aportan soluciones: generan y organizan la información, pero no determinan por sí mismos la legalidad ni las implicaciones de los fenómenos observados. El avance real depende de pasos posteriores: una revisión e interpretación rigurosas y, cuando corresponda, la adopción de medidas legales, normativas o de cumplimiento.

Servicios web y plataformas de integración de datos:

Permiten a los usuarios combinar datos de satélites, drones y fuentes de campo para crear un sistema integral de monitoreo ambiental de la Amazonía. Estas plataformas pueden proporcionar visualización de datos, análisis y alertas en tiempo casi real para orientar las medidas adoptadas frente a la deforestación, la minería ilegal y el cambio climático. Herramientas como TerraBrasilis y Brazil Data Cube, y el portal ORA-ACTO GeoAmazon centralizan el procesamiento de datos geoespaciales y respaldan la toma de decisiones de los conservacionistas, los investigadores y las comunidades locales. Iniciativas como Xingu+ Sirad X, que utilizan imágenes de radar³⁶ y Google Earth Engine, proporcionan información para detectar la deforestación, incluso bajo cobertura de nubes. Por su parte, MapBiomás Alerta consolida alertas de diversas fuentes para rastrear la deforestación.

Computación avanzada: El potencial de tecnologías como la IA y la computación en la nube para el monitoreo ambiental es inmenso, especialmente a medida que evolucionan. Por ejemplo, la IA puede ayudar a predecir los efectos del cambio climático en la Amazonía, optimizar las estrategias de conservación y mejorar la detección de actividades ilegales como la tala y la minería. Los modelos basados en IA pueden ayudar a pronosticar escenarios climáticos futuros y respaldar la toma de decisiones para obtener mejores resultados en materia de conservación.³⁷ Sin embargo, también generan inquietudes en torno a los sesgos en los datos, la transparencia, los costos energéticos y el riesgo de depender excesivamente de predicciones de “caja negra” que pueden inducir a error en las decisiones de conservación.³⁸

Al combinar varias fuentes de datos, la IA puede identificar patrones que de otro modo pasarían desapercibidos, lo que permite respuestas más rápidas e informadas ante las amenazas ambientales.³⁹ Esto es crucial en la Amazonía, donde una intervención oportuna puede evitar daños irreversibles. La IA, cuando se integra con imágenes satelitales, drones y sensores de campo, puede proporcionar una imagen más detallada y precisa de las condiciones ambientales de la Amazonía, mejorando el análisis de imágenes satelitales, la identificación de especies y la detección de cambios en el uso de la tierra. Por ejemplo, la IA ya está mejorando la identificación de especies a partir de imágenes de cámaras trampa y grabaciones acústicas, como la plataforma Wildlife Insights, el proyecto Guacamaya de Colombia (impulsado por Microsoft AI for Good⁴⁰) y EarthRanger.⁴¹ Las plataformas de computación en la nube (como Google Earth Engine) permiten el procesamiento de datos a gran escala, mientras que las supercomputadoras (como Nuna, del SENAMHI de Perú) respaldan la elaboración de modelos climáticos. La computación cuántica, aunque incipiente, ofrece la posibilidad de realizar simulaciones climáticas más rápidas y precisas.⁴²

Si bien existen desafíos —como la necesidad de contar con conjuntos de datos de entrenamiento de alta calidad, una infraestructura digital limitada en zonas remotas, la subutilización de los datos y las dificultades para integrarlos—, los avances en IA y la computación en la nube pueden representar herramientas adicionales para mejorar los esfuerzos de conservación.



SENAMHI: Análisis de datos para la conservación

El SENAMHI peruano, encuadrado dentro del Ministerio del Ambiente, cuenta con un centro de computación de alto rendimiento denominado NUNA. Puesto en marcha en diciembre de 2023, NUNA orienta la toma de decisiones sobre riesgos relacionados con el clima y desastres naturales. Para obtener más información, véase el estudio de caso 3.

36 Las imágenes de radar constituyen una poderosa técnica de observación de la Tierra que genera imágenes a partir de ondas de radio reflejadas.

37 Ukoba y otros (2025).

38 McGovern y otros (2022).

39 INPE (2024).

40 Humbolt (2024).

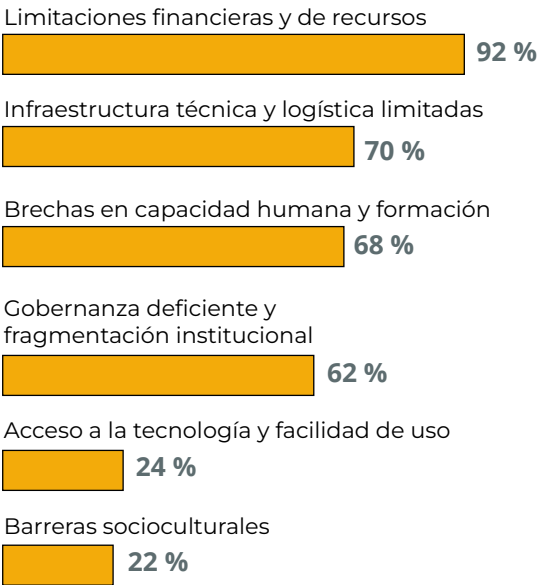
41 EarthRanger (2024); Gundi Partnership (2025).

42 Schwabe y otros (2025).

Hacer frente a los desafíos: Obstáculos a la implementación de tecnologías digitales para la conservación en la Amazonía

Todo el potencial de las tecnologías digitales para monitorear el cambio climático se ve amenazado por obstáculos críticos que pueden comprometer su capacidad para respaldar la conservación, la sostenibilidad y una adopción más amplia. En esta sección se presentan estos obstáculos en orden de relevancia, según las consultas realizadas con las partes interesadas.

Gráfico 1.3: Porcentaje que representan las principales barreras al uso de la tecnología digital citadas por las partes interesadas consultadas



Fuente: Análisis de los autores.

Nota: N = 40.

Limitaciones financieras y de recursos: La carga financiera que supone adquirir, operar y mantener las tecnologías digitales es uno de los desafíos mencionados con más frecuencia durante las consultas. Esto coincide con las conclusiones de encuestas mundiales sobre tecnologías para la conservación.⁴³ Muchas organizaciones y Gobiernos que trabajan en la región amazónica enfrentan restricciones presupuestarias estrictas, lo que limita su capacidad para ampliar los esfuerzos de monitoreo digital, sostenerlos y actuar a partir de ellos. Estas restricciones financieras hacen que resulte difícil estar a la altura de los rápidos avances tecnológicos, monitorear la región a gran escala e integrar nuevas herramientas en los sistemas existentes. Los costos incluyen todo, desde el desarrollo de las soluciones hasta el mantenimiento continuo de los equipos. Si bien algunas herramientas, como el *software* de código abierto, reducen los costos iniciales, mantener los servicios en la nube, el almacenamiento de datos y la infraestructura computacional sigue siendo costoso. Los procesos burocráticos de adquisiciones retrasan la adquisición de equipos, lo que ralentiza la implementación de herramientas digitales de monitoreo. Además, la importación de dispositivos tecnológicos suele estar sujeta a aranceles elevados, lo que hace que a las organizaciones les resulte más difícil costear

y mantener las tecnologías necesarias para llevar adelante iniciativas de conservación eficaces.

Infraestructura técnica y logística limitadas: La vastedad y el carácter remoto de muchas zonas de la Amazonía dificultan la tarea de garantizar una conectividad a internet constante y confiable. A su vez, las características ambientales de la región plantean desafíos para la adopción y el uso confiables de diversas tecnologías digitales de conservación. Por ejemplo, las condiciones ambientales extremas de la región —que incluyen alta humedad, lluvias intensas y fluctuaciones de temperatura— reducen la durabilidad y la funcionalidad de los equipos de monitoreo digital de campo, lo que genera mayores costos de mantenimiento y el riesgo de que dichos equipos fallen. Debido a la densa cubierta forestal y los vastos sistemas fluviales, también resulta más difícil y costoso llegar a los sitios de monitoreo remotos. La utilización y el mantenimiento de equipos de campo en estas zonas a menudo requieren importantes recursos financieros y humanos, que no siempre están disponibles. La limitada infraestructura digital hace difícil obtener una visión integral y coherente de la salud, la biodiversidad y el estado de conservación de los bosques.⁴⁴ En el capítulo 2 se analizan los desafíos de infraestructura, junto con ejemplos de soluciones eficaces para abordarlos.

Brechas en capacidad humana y formación: Para diseñar, implementar y mantener con eficacia las tecnologías digitales de conservación, es necesario contar con la capacidad adecuada. Muchas organizaciones y organismos gubernamentales enfrentan escasez de personal calificado. Por ejemplo, Brasil cuenta con un agente ambiental por cada 1000 kilómetros cuadrados de áreas preservadas, lo que socava los esfuerzos de monitoreo y gestión.⁴⁵ A modo de referencia, el Servicio de Parques Nacionales de Estados Unidos cuenta con alrededor de 20 000 empleados⁴⁶ y unos 200 000 agentes, lo que representa una proporción de aproximadamente una persona por cada 10 kilómetros cuadrados (suponiendo que todos los empleados reúnen las condiciones para ser agentes ambientales). Las organizaciones responsables de gestionar y monitorear las áreas protegidas y los territorios indígenas necesitan mayor apoyo para funcionar de manera eficaz. Por otra parte, atraer y retener recursos humanos especializados puede ser difícil debido a las restricciones presupuestarias y burocráticas (por ejemplo, los contratos de duración limitada) y el carácter remoto de la región. Esto genera brechas en la transferencia de conocimientos y falta de uniformidad en la recopilación y el análisis de datos. Este problema es particularmente complicado en proyectos que requieren un compromiso a largo plazo y conocimientos especializados sostenidos, como los que involucran tecnologías complejas o integración de datos a gran escala.

43 Speaker y otros (2022).
44 Nagano y otros (2024).
45 Altino (2024).
46 <https://www.nps.gov/aboutus/faqs.htm>.

Gobernanza deficiente y fragmentación institucional:

La falta de marcos para el intercambio de datos y la interoperabilidad, sumada a la alta fragmentación de las iniciativas lideradas por múltiples actores, limita los beneficios de las tecnologías digitales para la conservación. Este tema se aborda con mayor detalle en el capítulo 3.

Barreras socioculturales: Las comunidades indígenas de la Amazonía enfrentan diversas barreras socioculturales para adoptar tecnologías digitales. Las brechas lingüísticas y de alfabetización, combinadas con la disponibilidad limitada de contenido culturalmente pertinente, restringen su uso efectivo. La desconfianza derivada de la exclusión histórica y las preocupaciones sobre la titularidad de los datos limitan

aún más la participación. Las divisiones generacionales y de género suelen restringir el acceso equitativo dentro de las comunidades. Además, las normas comunales sobre el intercambio de recursos se contraponen al diseño centrado en el individuo que caracteriza a la mayoría de las herramientas digitales. El reconocimiento legal limitado de los datos recopilados por las comunidades y del conocimiento no basado en datos, así como la falta de apoyo e incentivo para la conservación, socavan los esfuerzos de monitoreo participativo. Por último, la diversidad lingüística y cultural de la Amazonía plantea desafíos para la comunicación entre los países y dentro de ellos.

Recuadro 5: Los pueblos indígenas y las comunidades locales en el centro de las soluciones

Las tecnologías digitales para la conservación tendrán éxito si su implementación se planifica desde el inicio en colaboración y consulta con los pueblos indígenas y las comunidades locales. Esta forma de asociación implica partir de los sistemas de conocimientos comunitarios, diseñar conjuntamente soluciones complementarias y promover el liderazgo y la gestión de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Esto incluye, entre otras cosas, lo siguiente:

Promover y apoyar el liderazgo indígena.

El fortalecimiento de la participación de las organizaciones indígenas garantiza que los mecanismos de gobernanza sean más inclusivos y representativos de la diversidad de la región. Al combinar los conocimientos tradicionales con sistemas de monitoreo avanzados, las iniciativas de conservación pueden abordar más adecuadamente los desafíos del cambio climático y las actividades humanas, al tiempo que empoderan a las comunidades que presentan vínculos más profundos con la Amazonía. Esto puede incluir el apoyo a la labor de entidades como la Coordinadora de las Organizaciones Indígenas de la Cuenca Amazónica, de nivel regional, y de asociaciones indígenas de nivel nacional, como la Coordinación de Organizaciones Indígenas de la Amazonía Brasileña, por nombrar algunas.

Fortalecer el monitoreo participativo y la gobernanza dirigida por la comunidad. El monitoreo participativo, en el que las comunidades locales intervienen activamente en la recopilación y el análisis de los datos, mejora la calidad de los datos recogidos y fomenta un sentido de protagonismo local y de responsabilidad en dichas comunidades.

Garantizar el control y la propiedad local de los datos sensibles.

Los pueblos indígenas y las comunidades locales deben conservar la propiedad de los datos recopilados para poder influir más eficazmente en las políticas, promover modelos de gobernanza dirigidos por la comunidad y salvaguardar sus derechos territoriales. Por ejemplo, Kanindé aplica un marco específico de gobernanza de datos que garantiza la transparencia, la rendición de cuentas y la propiedad local en su Sistema de Monitoreo de la Deforestación (SMDK). Todo el sistema del SMDK está construido con datos satelitales de dominio público y herramientas de código abierto, lo que evita los costos de las licencias y garantiza una amplia accesibilidad. Los informes automatizados recopilan datos de múltiples herramientas y se transmiten a los líderes indígenas, quienes mantienen el control total sobre el acceso a los datos y su divulgación, incluso frente a las autoridades públicas.

Kayapós en Brasil



Buscar la integración con los sistemas de conocimientos tradicionales. Es fundamental lograr la integración de tecnologías de vanguardia con los sistemas de conocimientos tradicionales para promover un enfoque holístico en la conservación del medio ambiente. Esto garantiza que los avances tecnológicos complementen, en lugar de reemplazar, los conocimientos especializados locales, lo que refuerza tanto la precisión como la inclusividad de las iniciativas de monitoreo en el bioma amazónico.

Cabe señalar que en este trabajo se reconoce la necesidad de respetar la existencia y autonomía de las poblaciones no contactadas, por lo que es fundamental aplicar las tecnologías digitales de conservación de manera que no interfieran con su deseo de permanecer aisladas.

Fotografía: Oliver Kornblitt (Ministério da Cultura, Flickr Creative Commons).

Recomendaciones clave para mejorar el monitoreo en el bioma amazónico a través de las tecnologías digitales

¿Qué medidas pueden fomentar el crecimiento y la sostenibilidad a largo plazo de las tecnologías digitales de conservación para monitorear el cambio climático en la Amazonía? A partir de amplias consultas e investigaciones, en esta sección se presentan recomendaciones para superar

los obstáculos a la adopción de estas tecnologías y mejorar su eficacia.

TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN		
Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo

RECOMENDACIONES	DETALLES/BENEFICIOS/SALVEDADES	PARTES INTERESADAS
Potenciar las capacidades locales de fabricación y mantenimiento. Desarrollar capacidades locales de mantenimiento y, cuando sea posible, de fabricación de infraestructura digital y tecnologías específicas, como drones y sensores. Corto a mediano plazo	Esto reducirá la dependencia respecto de las importaciones y mejorará la autosuficiencia en las actividades de monitoreo. Asimismo, contribuirá a reducir los costos y a que la tecnología sea más accesible para las organizaciones y comunidades locales. El fomento de la innovación y la producción locales también puede crear oportunidades económicas y fortalecer conocimientos especializados a nivel regional. Por último, los elevados costos de determinados dispositivos podrían abordarse parcialmente reduciendo los aranceles de importación.	Principales • Sector privado • Gobiernos Actores adicionales • OSC • Pueblos indígenas
Promover la innovación tecnológica y su implementación. Se necesitan inversiones en investigación para desarrollar herramientas, tecnologías y estrategias que estén a la altura de los desafíos cambiantes del cambio climático y el monitoreo ambiental en la Amazonía. Mediano plazo	Las inversiones en IA y plataformas intuitivas pueden mejorar la recopilación de datos y su usabilidad para una amplia gama de partes interesadas. En este sentido, la colaboración con los círculos académicos puede ofrecer la plataforma adecuada para aprovechar las tecnologías más recientes, minimizando el compromiso financiero. Sin embargo, teniendo en cuenta los altos costos asociados a las herramientas más avanzadas, se recomienda realizar una evaluación cuidadosa de las ventajas y desventajas de las distintas opciones.	Principales • Sector privado • OSC Actores adicionales • Gobiernos • Círculos académicos
Fortalecer la infraestructura digital y de datos. La Amazonía necesita inversiones considerables para fortalecer la infraestructura digital, energética y de datos.⁴⁷ La infraestructura actual de datos debe actualizarse y mantenerse. Corto a mediano plazo	Es necesario fortalecer la cobertura de internet para aprovechar todo el potencial de las tecnologías digitales. Para los esfuerzos de conservación sería igualmente valioso contar con nuevas instalaciones regionales equipadas para mantener y respaldar tecnologías avanzadas —como la computación en la nube, la computación de alto rendimiento y las plataformas basadas en IA— que permitan gestionar conjuntos de datos grandes y complejos, y respaldar actividades de monitoreo integrales. Estas tecnologías también requieren estrategias adecuadas para desarrollar y promover el uso de la nube respetando las regulaciones locales sobre protección y localización de datos. Por último, es igualmente importante considerar la huella ambiental del despliegue de infraestructura de internet y de datos, en particular debido a que los centros de datos pueden estar ubicados fuera del bioma y, por lo tanto, no requieren instalación directa en ecosistemas sensibles.	Principales • Sector privado • Gobiernos • Pueblos indígenas y comunidades locales Actores adicionales • OSC • Círculos académicos
Promover la calidad de los datos, su estandarización, la interoperabilidad y la colaboración. Las partes interesadas destacaron la necesidad de contar con estándares y protocolos comunes que faciliten el intercambio de datos, la interoperabilidad y la integración, Corto a mediano plazo	Esto incluye elaborar directrices sobre recopilación, procesamiento y almacenamiento de datos que garanticen la coherencia y la precisión. Al estandarizar las prácticas de gestión de datos, las organizaciones pueden mejorar la fiabilidad de sus análisis y tomar decisiones más informadas sobre la gestión ambiental.⁴⁸	Principales • Gobiernos • OSC • Pueblos indígenas y comunidades locales Actores adicionales • Círculos académicos
Gobernanza y colaboración. La coordinación y colaboración entre las partes interesadas de los sectores público, privado y social son esenciales. La implementación y ampliación de las tecnologías digitales de conservación exigen un enfoque sistémico integral que fomente la participación compartida y la acción colectiva. Corto a mediano plazo	Es fundamental tener en cuenta los diferentes incentivos de cada actor, junto con la distribución del poder de negociación y el poder político. Esto significa considerar las funciones y responsabilidades de las partes interesadas en estos sectores, que estarán bien diferenciados, pero serán muy interdependientes. La ampliación de las colaboraciones a través de plataformas como ORA-ACTO, SERVIR-Amazonía y MapBiomias mejora el intercambio de datos, la mancomunación de recursos y la capacidad de monitoreo regional. El fortalecimiento de las alianzas entre los países amazónicos, las instituciones de investigación y los organismos internacionales mejorará la coordinación y atraerá financiamiento.⁴⁹	Principales • Gobiernos • OSC • Pueblos indígenas y comunidades locales Actores adicionales • Círculos académicos

47 Para obtener recomendaciones detalladas sobre cómo cerrar la brecha digital, véase el capítulo 2.
48 En el capítulo 3 se profundiza el análisis de los marcos y las prácticas de gobernanza de datos que pueden facilitar la interoperabilidad y reutilización de datos confiables para obtener mejores perspectivas y tomar decisiones basadas en evidencias.
49 Este tema se aborda con mayor detalle en el capítulo 3.



CAPÍTULO 2

Infraestructura digital en el bioma amazónico

Principales colaboradores: Niccolò Comini, Luciano Charlita De Freitas



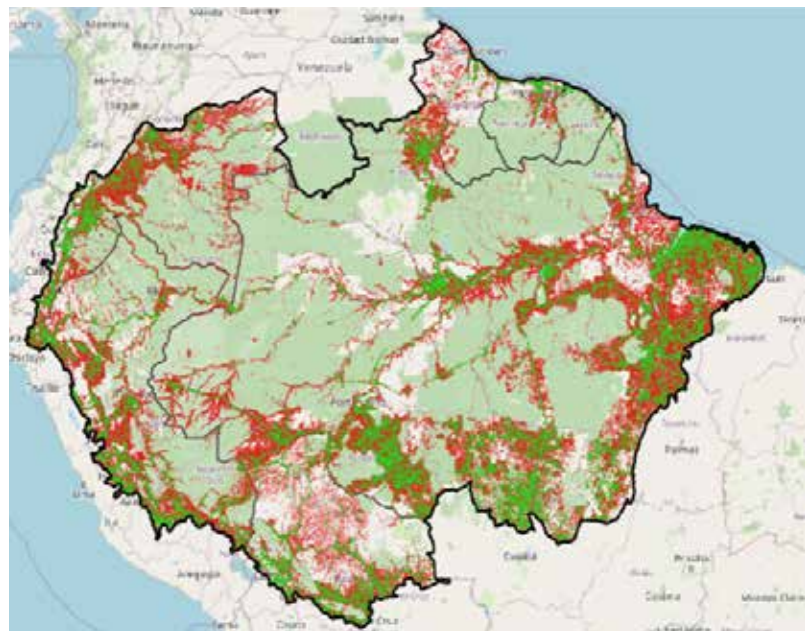
Las tecnologías digitales para monitorear el cambio climático no pueden generar valor cuando no hay acceso asequible, rápido y resiliente a internet, o cuando dicho acceso es irregular. En este capítulo se presenta un

panorama general de este componente fundamental, y se examina la cobertura actual de la red digital en todo el bioma amazónico, prestando especial atención tanto a las zonas pobladas como a las poco pobladas. Se toma como base una combinación de fuentes de datos públicas y privadas, por lo que este análisis es un punto de referencia clave para comprender la conectividad en la región.

El potencial de los sistemas de comunicación e internet para monitorear la región amazónica es enorme, sobre todo a medida que las nuevas tecnologías se vuelven más asequibles y accesibles. Más allá del crecimiento del producto interno bruto, el acceso confiable a internet es un elemento que posibilita el monitoreo ambiental y del cambio climático en la Amazonía, dado que proporciona la infraestructura necesaria para la captura y transmisión de datos, y la coordinación y colaboración entre las partes interesadas.⁵⁰ La ampliación de las redes de comunicación puede mejorar la eficacia de los sistemas de monitoreo existentes al permitir una recopilación y un reporte de datos más oportunos y precisos. Un estudio reveló que las comunidades que estaban equipadas con teléfonos inteligentes y utilizaban imágenes satelitales eran más eficaces para reducir las tasas de deforestación. Contar con sistemas de comunicación confiables es especialmente importante en las zonas remotas, donde las redes de comunicación más comunes (como la fibra óptica y la telefonía móvil) pueden ser insuficientes o inexistentes.⁵¹

Gráfico 2.1: Cobertura de banda ancha móvil y fija en la Amazonía

Los puntos rojos y verdes oscuros corresponden a zonas pobladas. Las áreas rojas no tienen acceso a internet, mientras que las de color verde oscuro sí.



Fuente: Análisis de los autores. Mapa adaptado por el equipo a partir de Data Basin (Riveros, 2012). No incluye a Venezuela.

El estado de la conectividad digital en la Amazonía

Tradicionalmente, los esfuerzos por cerrar la brecha digital se han centrado en las zonas pobladas con el objetivo de aprovechar los beneficios socioeconómicos relacionados con el acceso a internet y promover un desarrollo inclusivo. En este ámbito se han registrado mejoras notables: en la actualidad, la cobertura móvil alcanza aproximadamente al 95 % de la población de América Latina.⁵² Los avances tecnológicos han demostrado que la conectividad a internet puede generar un impacto significativo incluso en zonas escasamente pobladas. La proliferación de dispositivos y aplicaciones destinados al monitoreo remoto está llevando internet incluso a zonas geográficas que antes quedaban fuera de la ecuación. Esto plantea un nuevo desafío para el sector de las telecomunicaciones y requiere una planificación cuidadosa en lo que respecta al despliegue de infraestructura. Una característica común entre los países que comparten el bioma amazónico es el nivel dispar de cobertura y uso de internet en los territorios amazónicos.

La brecha de cobertura

Para este informe se ha utilizado un conjunto de datos único de resultados de pruebas iniciadas por consumidores y escaneos de señal de Speedtest Intelligence®, proporcionados por Ookla®, para estimar la cobertura de banda ancha fija y móvil en el bioma amazónico.

En el análisis de la cobertura no se tuvo en cuenta la conectividad satelital, debido a que esta tecnología cubre técnicamente toda el área.

El gráfico 2.1 representa el estado de la cobertura de internet en 2024 en la región. Combinando señales de banda ancha móvil (4G y 5G) y mediciones de banda ancha fija de Speedtest, se estima que apenas el 3,5 % del bioma tiene acceso a internet. La cobertura se concentra a lo largo de los principales corredores fluviales, ejes de transporte y zonas urbanas.

95 %

Porcentaje de la población de América Latina que tiene acceso a servicios de internet móvil

50 Ywata (2025).

51 Slough y otros (2021).

52 GSMA (2025).

En términos de población, el 85 %⁵³ está cubierto por internet de banda ancha (tanto móvil como fija). Si se analizan las distintas tecnologías, que pueden superponerse entre sí, se concluye que la internet móvil desempeña un papel predominante al cubrir el 85 % de la población, frente a la internet fija, que alcanza al 69 %.⁵⁴ Con un 73 % y un 77 %, respectivamente, Colombia y Perú son los países con menor cobertura poblacional de la muestra.

3,5 %

Porcentaje del bioma amazónico cubierto por servicios de internet

Cuando los resultados se desagregan entre territorios indígenas y no indígenas, se observa una disparidad más marcada⁵⁵: solo el 0,93 % de los territorios indígenas cuenta con cobertura de internet, que alcanza apenas al 63 % de la población. Estos resultados indican que la brecha de cobertura poblacional de banda ancha en las zonas indígenas es casi tres veces mayor que la observada en las zonas no indígenas.

La diferencia es uniforme tanto en la banda ancha móvil como en la fija, pero es especialmente marcada en la cobertura de banda ancha fija. A nivel nacional, la menor cobertura demográfica de banda ancha en zonas indígenas se observa en Guyana (17,03 %), Colombia (35,57 %) y Brasil (37,67 %).

La brecha de uso

El acceso a la conectividad a internet no se corresponde con su uso. Aunque en teoría la señal satelital podría cubrir toda la región, la población que vive en la Amazonía está muy rezagada en el uso de internet. El informe del Banco Mundial titulado *Closing the digital gap in the Amazonas department* (Cerrar la brecha digital en el departamento de Amazonas) muestra que los niveles más altos de la brecha digital en Colombia se concentran en los departamentos ubicados en la región amazónica.⁵⁶ En el departamento de Amazonas de ese país solo el 29 % de los hogares tiene acceso a internet, frente al promedio nacional del 64 %.⁵⁷ En Perú, el 77 % de la población usa internet, mientras que en el departamento de Amazonas esa cifra se reduce al 59,5 %.⁵⁸ Brasil se sitúa por encima de la media, ya que el 87,5 % de la población mayor de 10 años usa internet en la Amazonía Legal.⁵⁹ No obstante, la definición de Amazonía Legal abarca territorios altamente urbanizados en comparación con otros países.

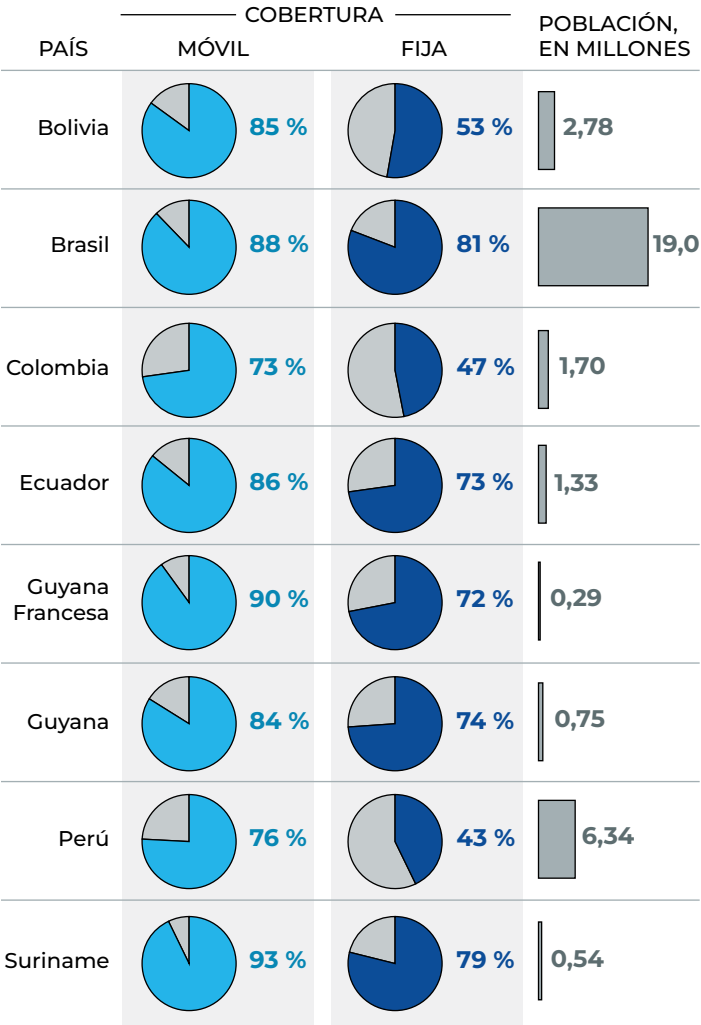
Hay diferentes razones por las que la conectividad digital en el bioma amazónico es limitada tanto en términos de acceso como de uso. La geografía de la selva tropical puede dificultar y encarecer enormemente la instalación y el mantenimiento de infraestructura digital, además de representar riesgos graves para el frágil ecosistema.⁶⁰ A esto se suma la falta de

incentivos económicos y financieros para que el sector privado invierta en la región. La baja densidad poblacional, junto con las fuertes restricciones económicas del lado de la demanda, hacen que este mercado no sea rentable para los operadores de telecomunicaciones. Por ejemplo, más de un tercio de la población de la Amazonía brasileña vive en la pobreza.⁶¹ Del mismo modo, los departamentos amazónicos de Colombia se encuentran entre los más pobres del país.⁶² Por último, es necesario considerar también los costos de mantenimiento continuo asociados a la provisión de cobertura. Parte de este mantenimiento requiere un acceso constante a la infraestructura y los servicios conexos, como la electricidad, que no siempre está disponible en las zonas rurales de la Amazonía.⁶³

85 %

Porcentaje de la población del bioma amazónico con cobertura de internet móvil

Gráfico 2.2: Cobertura de banda ancha en el bioma amazónico



Fuente: Análisis de los autores.

53 La población total de la zona es de 32 779 036 personas, cifra inferior a la de toda la cuenca amazónica, cuya población ronda los 50 millones.

54 La cobertura fija se calcula a partir de los resultados de las pruebas de velocidad de internet, por lo que podría estar subrepresentada.

55 Para acceder a un análisis basado en el mapa de territorios indígenas, consulte: <https://www.raisg.org/en/maps/>.

56 Grupo Banco Mundial (2023).

57 Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2023).

58 Instituto Nacional de Emprendimiento e Innovación (2025).

59 Instituto Brasileño de Formación Docente (2024); la Amazonía Legal de Brasil es la mayor división sociogeográfica del país y abarca los nueve estados de la cuenca amazónica.

60 eSIMo (2024).

61 Hanusch y Marek (2023).

62 Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2025).

63 Soares y Donário de Azevedo (2023).

Aunque estos desafíos persisten, se han puesto en marcha varias iniciativas para abordar la brecha digital en la región amazónica:

- El programa Norte Conectado, en Brasil, tiene como objetivo expandir la conectividad en la región amazónica mediante la instalación de “12 000 kilómetros de cables de fibra óptica en los lechos de los ríos de la región amazónica para 2026”⁶⁴, con lo que se beneficiará a 10 millones de personas. El proyecto está financiado por el gobierno federal, con cargo parcial al Fondo de Servicio Universal del sector de telecomunicaciones y con el apoyo adicional de asociaciones público-privadas (APP).
- El Proyecto Nacional de Conectividad Alta Velocidad en Colombia tiene como objetivo la prestación de servicios de conectividad en 235 instituciones públicas, 953 Kioscos Vive Digital (centros de acceso comunitario a internet en zonas rurales) y 56 Puntos Vive Digital (centros de acceso comunitarios a internet en zonas urbanas), y la creación de 11 780 accesos a internet de banda ancha para hogares de bajos ingresos.⁶⁵ El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia está desarrollando y financiando este proyecto.
- En Perú, el programa Conecta Selva permitió más de 500 000 conexiones a internet en zonas rurales de Loreto,

Recuadro 6: Infovías, el Programa Norte Conectado

Uno de los proyectos más ambiciosos para ampliar la infraestructura de banda ancha en la región amazónica es el Programa Norte Conectado de Brasil.¹ Incluye ocho redes de fibra óptica de alta capacidad (infovías) y tiene como objetivo cubrir 12 000 kilómetros en la región amazónica mediante la instalación de cables de fibra óptica subfluviales y la implementación de políticas públicas en telecomunicaciones, educación, investigación, salud, defensa y poder judicial, y posiblemente también en otros ámbitos.

Para 2024, se habían completado los dos primeros tramos, que conectan Macapá, una ciudad cercana a la costa atlántica, con Manaus, ubicada en el centro de la región amazónica. La gestión está a cargo del Programa Amazonía Integrada Sostenible (PAIS), establecido por el Decreto 10 800/2021², que define la estructura y el funcionamiento del Comité Directivo responsable de monitorear y supervisar la ejecución del proyecto.

Las infovías se basaron en una combinación de inversiones del sector público y privado, facilitadas a través de diversas iniciativas y asociaciones. Entre las fuentes más destacadas se encuentran los fondos públicos obtenidos de subastas del espectro.

Con esta iniciativa también se busca mejorar el acceso a internet en la región y promover la integración con los países vecinos en la Panamazonía. El objetivo de los países de la región es crear un corredor óptico que conecte Brasil, Colombia, Guyana, Guayana Francesa y sus pares internacionales.³

1 Gobierno de Brasil (2024).
2 Gobierno de Brasil (2021).
3 Bucco (2024).

Ucayali, Amazonas y Madre de Dios.⁶⁶ La iniciativa es impulsada y financiada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del país.

- En el marco del proyecto Red de Conexión de los Pueblos del Bosque, en la Amazonía brasileña, se utilizan kits de energía solar y tecnología de satélites de órbita baja para proveer servicio de internet a 1400 comunidades indígenas.⁶⁷ El proyecto se financia con una combinación de donaciones de organizaciones filantrópicas y del sector privado.

Cómo cerrar la brecha de conectividad digital en la Amazonía

En las últimas décadas, los Gobiernos, la industria y los profesionales en la materia se han centrado principalmente en ampliar la cobertura de internet a las distintas poblaciones con el objetivo de aprovechar los beneficios socioeconómicos asociados con la conectividad digital.

En los últimos años, los objetivos de conectividad han pasado de proporcionar acceso a internet únicamente a personas y comunidades a ampliar la cobertura a zonas despobladas —como explotaciones agropecuarias, bosques y ecosistemas protegidos—, donde la conectividad digital puede generar mayor eficiencia en la agricultura, la conservación y la resiliencia climática. En el caso de la Amazonía, es posible instalar dispositivos tecnológicos en áreas remotas con escasa o nula presencia humana para el monitoreo ambiental. Este nuevo enfoque plantea desafíos técnicos y financieros, debido a las grandes áreas que se deben cubrir y a la falta de incentivos económicos ante la ausencia de una demanda significativa.

Extender el acceso a internet a zonas pobladas y despobladas conlleva necesidades técnicas bien diferenciadas en función de los distintos patrones de uso. Si bien conectar

a las personas requiere un ancho de banda suficiente para realizar actividades básicas en línea, los dispositivos que operan en zonas deshabitadas —como sensores o equipos de monitoreo— suelen necesitar una capacidad de transmisión de datos considerablemente menor, con una infraestructura más ligera y menos invasiva. Proporcionar internet a la población amazónica puede lograrse a través de tres tecnologías: banda ancha fija, móvil y satelital. Si bien este enfoque sigue siendo técnicamente válido en zonas despobladas, su aplicación a menudo enfrenta importantes limitaciones técnicas y financieras. En tales casos, las necesidades de conectividad pueden atenderse con mayor eficacia recurriendo a tecnologías inalámbricas alternativas (véase el recuadro 7).

64 Cavalcanti (2024).
65 Gobierno de Colombia (2024).
66 Gobierno de Perú (2024).
67 Fundación Roberto Marinho (2025); Schaeffer y Barrantes, (2023); Conexão Povos da Floresta (2025).

Recuadro 7: Tecnologías alternativas de transmisión de datos para el monitoreo climático y ambiental

La elección de los métodos de transmisión de datos es fundamental para aplicar eficazmente las tecnologías digitales que se utilizarán en la protección de los bosques y el monitoreo ambiental, en especial en regiones remotas con escasa infraestructura, como la Amazonía. Si bien las redes móviles siguen siendo la principal fuente de conectividad, están surgiendo tecnologías inalámbricas alternativas que pueden ampliar el alcance y la sostenibilidad de las iniciativas de IdC.

Tres destacadas tecnologías de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) —IdC de banda estrecha [IdC-BE], LoRa y Sigfox— ofrecen soluciones viables para transmitir datos a grandes distancias con un consumo de energía y un costo operativo mínimos. Estas tecnologías respaldan la transición de la cobertura móvil centrada en las personas hacia una conectividad de área más amplia, que permite el monitoreo ambiental en tiempo real incluso en las zonas más inaccesibles.

Cada una de estas tecnologías aporta ventajas y desventajas específicas en términos de alcance, velocidad de datos, latencia, ampliable, costo y seguridad. En la Amazonía y en ecosistemas similares, posiblemente la combinación de estas tecnologías permita la cobertura más eficaz, adaptada a las necesidades ambientales y logísticas específicas.

IdC-BE

SE CARACTERIZA POR:

- Opera en el espectro móvil con licencias
- Penetración profunda en interiores y bajo tierra
- Batería de larga duración (hasta 10 años)
- Seguridad sólida

IDEAL PARA:

- Sensores estacionarios con necesidades de datos poco frecuentes, como sondas de humedad del suelo o monitoreo de la salud de los árboles

LoRa (largo alcance)

SE CARACTERIZA POR:

- Velocidades de datos adaptables
- Alcances de transmisión de hasta 15 km en las zonas rurales
- Eficiencia energética
- Ampliable

IDEAL PARA:

- Densas redes de sensores diseminadas en grandes extensiones de bosque
- Monitoreo de la biodiversidad
- Detección del riesgo de incendios forestales

Sigfox

SE CARACTERIZA POR:

- Conectividad mundial y de bajo costo
- Escaso ancho de banda
- Requisitos mínimos de energía

IDEAL PARA:

- Dispositivos simples de IdC, como los que envían pequeñas cantidades de datos de forma intermitente
- Monitoreo de activos
- Monitoreo remoto de infraestructura en regiones de difícil acceso

El costo de la conectividad a internet en la Amazonía

Los desafíos técnicos, geográficos y demográficos hacen que el despliegue de infraestructura digital en la Amazonía sea extremadamente costoso. Algunas cifras ayudan a entender la magnitud de estos costos. Por ejemplo, en un informe de 2021 se señalaba que para cerrar la brecha digital en América Latina se deberían invertir USD 68 500 millones en redes fijas y móviles.⁶⁸ Las conclusiones pusieron de relieve que la inversión pública estratégica es esencial para fomentar APP capaces de llegar a las zonas más remotas y desconectadas, con el potencial de generar más de 15 millones de empleos en la región de América Latina y el Caribe. El Banco Mundial estima que para cerrar la brecha digital en el departamento de Amazonas (Colombia) se necesitan alrededor de USD 100 millones de inversión en gastos operativos y de capital.⁶⁹

15 millones

Número de empleos potencialmente creados en toda América Latina y el Caribe a través de una iniciativa de conexión a internet

En este informe se determina el costo de proporcionar conectividad a internet a toda la población del bioma amazónico. A partir del análisis de la cobertura presentado en la sección anterior, se estima que para conectar al 100 % de la población, garantizando una velocidad mínima de conexión de 10 megabits por segundo por suscriptor en horas pico, se necesitarían entre USD 6000 millones y

USD 7000 millones en gastos operativos y de capital Para suministrar electricidad a las torres de telefonía móvil sin

conexión a la red se necesitarían entre USD 500 millones y USD 800 millones adicionales por el mismo concepto. Las redes móviles y de fibra óptica representan aproximadamente el 90 % de los costos totales, y las tecnologías satelitales cubren

Proyecto de Internet Satelital de la Red de Conexión de los Pueblos del Bosque



Fotografía: Bruno Kelly. © Red de Conexión de los Pueblos del Bosque. Utilizada con el permiso de la Red de Conexión de los Pueblos del Bosque.

68 Zaballos y otros (2021).
69 Grupo Banco Mundial (2023).

el resto. Para minimizar los impactos ambientales, la instalación de fibra óptica se ha planificado a lo largo de la infraestructura vial existente con el fin de conectar a las poblaciones ubicadas en un radio de 10 kilómetros de estos corredores.

En el gráfico 2.3 se resumen los resultados de la evaluación de costos por país. En general, la infraestructura de fibra óptica representa aproximadamente el 60 % del gasto total. Brasil se destaca por ser el país que requiere la mayor inversión —alrededor de USD 4000 millones—, que representa más de la mitad del costo total de la región. Esto se debe principalmente a que concentra el mayor número absoluto de habitantes sin conexión. En la Amazonía colombiana, se llegará a la mayor parte de la población desconectada mediante tecnología satelital, lo que refleja una distribución poblacional más dispersa que la de otros países. Colombia registra además la menor proporción de conexiones de fibra óptica.

Torre de telefonía móvil en la Amazonía brasileña



Fotografía: Mariana Kaipper Ceratti (Banco Mundial).

Gráfico 2.3: Principales resultados de las evaluaciones de costos, por país de la región amazónica

CANTIDAD DE PERSONAS SIN COBERTURA DE INTERNET	PROPOSED TYPE OF COVERAGE			TIPO DE FINANCIAMIENTO PROPUESTO	
	Fibra óptica	Móvil	Satelital	GASTOS DE CAPITAL (MILES DE MILLONES DE USD)	GASTOS OPERATIVOS (MILES DE MILLONES DE USD)
Bolivia 419 960	22 %	77 %	1 %	USD 910 MILLONES	USD 60 MILLONES
Brasil 2 115 960	41 %	49 %	10 %	USD 3 740 MILLONES	USD 270 MILLONES
Colombia 460 644	43 %	45 %	12 %	USD 490 MILLONES	USD 40 MILLONES
Ecuador 182 825	18 %	79 %	4 %	USD 170 MILLONES	USD 10 MILLONES
Guyana Francesa 24 231	25 %	69 %	7 %	USD 40 MILLONES	USD 0
Guyana 107 503	28 %	65 %	6 %	USD 90 MILLONES	USD 10 MILLONES
Perú 1 493 331	22 %	73 %	4 %	USD 880 MILLONES	USD 60 MILLONES
Suriname 36 039	49 %	46 %	5 %	USD 130 MILLONES	USD 10 MILLONES

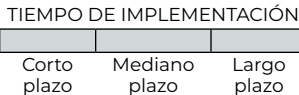
Fuente: Análisis de los autores.

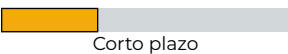
Nota: Este cuadro no contiene los gastos de capital ni los gastos operativos relacionados con la energía.

Recomendaciones clave para conectar la Amazonía

Cerrar la brecha digital en la región amazónica conlleva desafíos ambientales y operativos únicos, así como complejidades económicas y financieras específicas. Por lo tanto, este tipo de inversión requiere la coordinación de una amplia gama de actores —responsables de formular políticas,

Gobiernos, participantes del mercado y consumidores— para poner en práctica las siguientes recomendaciones:



RECOMENDACIONES	DETALLES/BENEFICIOS/SALVEDADES	PARTES INTERESADAS
Financiamiento combinado para financiar infraestructura. Para satisfacer las necesidades financieras que implica conectar a toda la población del bioma amazónico a internet, es indispensable aplicar un enfoque de financiamiento mixto.  Mediano plazo	Los Gobiernos nacionales deberían asignar recursos presupuestarios y buscar cofinanciamiento mediante alianzas regionales, aprovechando los fondos de servicio universal para apoyar iniciativas específicas de conectividad e incorporando la participación de miles de pequeños y medianos proveedores de servicios de internet para la prestación de servicios en la última milla. Los bancos internacionales de desarrollo, como el Grupo Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo, pueden otorgar préstamos en condiciones concesionarias y garantías para infraestructura a gran escala. Se deben promover las APP para movilizar la inversión, la experiencia técnica y la eficiencia operativa del sector privado. Los mecanismos de financiamiento innovadores, como los créditos de carbono y los bonos de biodiversidad, pueden generar nuevas fuentes de ingresos, mientras que el financiamiento colectivo y los fondos comunitarios pueden ayudar a llegar a las poblaciones más remotas y desatendidas. La combinación de estas diversas fuentes permitirá maximizar el impacto, distribuir el riesgo y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la conectividad digital de la Amazonía.	Partes interesadas principales - Ministerios de Telecomunicaciones/Innovación - Sector privado Actores adicionales - Entes reguladores de telecomunicaciones - Bancos multilaterales de desarrollo (BMD)
Integrar la infraestructura de telecomunicaciones en toda la región amazónica. Esta integración es fundamental para crear una infraestructura digital sólida y resiliente.  Corto a mediano plazo	Las iniciativas existentes en Brasil, Perú y Colombia —como el programa Norte Conectado en Brasil, el Proyecto Nacional de Conectividad Alta Velocidad en Colombia y el Proyecto Conecta Selva en Perú— proporcionan una base sólida para esta integración. Al vincular estos proyectos nacionales, es posible crear un corredor óptico que conecte las regiones amazónicas, facilitando el intercambio de datos y la colaboración transfronteriza.	Partes interesadas principales - Ministerios de Telecomunicaciones/Innovación - Sector privado Actores adicionales - BMD
Implementar una combinación de tecnologías para acelerar la conectividad en la región amazónica. Definir una estrategia de conectividad en la que se seleccione la tecnología adecuada para satisfacer las necesidades de datos de la población o zona destinataria.  Corto a mediano plazo	Una combinación de tecnologías, que incluya tecnologías de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) como la internet de las cosas de banda estrecha (IdC-BE), LoRa y Sigfox, y conectividad de banda ancha satelital, pueden ofrecer soluciones eficaces en función de los costos y energéticamente eficientes para la transmisión de datos en la región. Estas tecnologías son especialmente adecuadas para el monitoreo ambiental y pueden respaldar la recopilación y el análisis de datos en tiempo real, que son fundamentales para algunas iniciativas de conservación destacadas en el estudio.	Partes interesadas principales - Ministerios de Telecomunicaciones/Innovación - Sector privado Actores adicionales - OSC
Promover las redes comunitarias y los pequeños proveedores de servicios de internet. Las características territoriales naturales de la Amazonía dificultan y encarecen el despliegue y mantenimiento de redes de telecomunicaciones. En el caso de las operaciones de mantenimiento, una solución consiste en fortalecer y capacitar a las redes comunitarias.  Corto a mediano plazo	Dotar a los pequeños operadores y a las poblaciones locales (por ejemplo, infraestructura de conectividad de propiedad indígena) de las habilidades necesarias permitirá acelerar el mantenimiento y reducir su costo, promoviendo al mismo tiempo el nivel de identificación local con la infraestructura. Los pequeños proveedores de servicios de internet también pueden contribuir de manera decisiva a cerrar la brecha ofreciendo soluciones flexibles y de bajo costo adaptadas a las necesidades locales, especialmente cuando los grandes operadores cuentan con escasos incentivos comerciales. Su cercanía a las comunidades permite un despliegue ágil y una conectividad de última milla más sostenible en zonas remotas.	Partes interesadas principales - Ministerios de Telecomunicaciones/Innovación - Redes comunitarias - Sector privado Actores adicionales - OSC
Reducir los costos de los dispositivos de conectividad para equiparlos con los niveles de ingresos regionales. El alto costo de los dispositivos de conectividad es un obstáculo importante para la inclusión digital en la región amazónica, donde muchas personas viven en la pobreza.  Corto plazo	Para abordar este problema, las políticas deberían centrarse en reducir los aranceles de importación de dispositivos de conectividad esenciales y promover la capacidad de mantenimiento para aumentar la adopción de tecnologías digitales entre los hogares de bajos ingresos. Además, proporcionar subsidios o incentivos financieros para la compra de estos dispositivos permite respaldar aún más las iniciativas de inclusión digital, garantizando que más personas participen en la economía digital y accedan a servicios esenciales, al tiempo que se contribuye a las iniciativas de conservación y monitoreo.	Partes interesadas principales - Ministerios de Telecomunicaciones/Innovación - Sector privado Actores adicionales - OSC

RECOMENDACIONES	DETALLES/BENEFICIOS/SALVEDADES	PARTES INTERESADAS
Promover la capacitación en habilidades digitales. Para lograr un uso seguro y productivo de internet, es fundamental brindar acceso a capacitación en competencias digitales a las poblaciones urbanas y rurales, incluidos los pueblos indígenas y las comunidades locales, y los jóvenes.  Corto plazo	Los centros de educación digital en ciudades pequeñas y grandes, así como en comunidades, pueden ser una parte importante de la solución. La capacitación no debería limitarse al uso tradicional de dispositivos con acceso a internet, sino que también debería enfocarse en el mantenimiento y la operación de la infraestructura de telecomunicaciones.	Partes interesadas principales • Ministerios de Telecomunicaciones/Innovación • OSC Actores adicionales • Sector privado
Priorizar soluciones contextualizadas. La necesidad de contar con estrategias de conectividad y soluciones económicas adaptadas a las necesidades contrasta marcadamente con un enfoque único y universal, y pone de relieve que todo marco eficaz debe estructurarse teniendo en cuenta las limitaciones económicas, políticas y sociales específicas de las zonas destinatarias.  Corto plazo	Al distinguir cómo abordar las variables de oferta y demanda, e identificar las restricciones determinantes que obstaculizan el desarrollo económico digital, es posible precisar qué áreas son propicias para la inversión privada y cuáles requieren incentivos e inversiones públicas. Es igualmente importante que las propias comunidades rurales conduzcan las decisiones sobre conectividad en sus territorios, de modo que estas respondan a sus prioridades. Al mismo tiempo, el despliegue de infraestructura dentro del frágil bioma amazónico exige las más estrictas salvaguardas ambientales para garantizar una huella ecológica mínima.	Partes interesadas principales • Pueblos indígenas y comunidades locales • Sector privado • OSC • Gobiernos

Territorio Indígena de Uru-eu-wau-wau, Rondônia (Brasil)



Fotografía: Kanindé.



CAPÍTULO 3

Gobernanza de datos climáticos en la Amazonía para un uso confiable y equitativo

Principales colaboradores: Niccolò Comini, Adele Barzelay



En los capítulos anteriores se explica cómo las tecnologías y aplicaciones digitales pueden potenciar los esfuerzos de monitoreo del cambio climático, y cómo esto solo es posible si se garantizan la conectividad de red y la

alfabetización digital. Sin embargo, la tecnología por sí sola no es suficiente: su eficacia depende de la capacidad de las personas y las instituciones para utilizar los datos que genera y desarrollar investigaciones y conocimientos prácticos que orienten las políticas y permitan hacer frente a los desafíos climáticos. La eficacia de los enfoques basados en datos para abordar riesgos complejos y multidimensionales depende en gran medida de la accesibilidad, la calidad, la usabilidad y la representatividad de los datos, incluida la facilidad con que estos pueden combinarse y compartirse con terceros.

La gobernanza de datos es un componente fundamental para respaldar la implementación sostenible de tecnologías digitales de conservación en la Amazonía. Este capítulo tiene como objetivo proporcionar un marco que permita comprender los elementos clave necesarios para respaldar una recopilación y uso de datos climáticos más eficaces y confiables en la toma de decisiones basada en evidencias, y cómo estos elementos pueden implementarse en la región amazónica mediante la coordinación entre instituciones nacionales, regionales e internacionales.

Para poder aprovechar el valor de los datos no basta con facilitar el acceso a ellos. La pertinencia, calidad, usabilidad y fiabilidad de los datos que las tecnologías digitales generan o procesan, y que se recopilan en las iniciativas dirigidas por personas, son fundamentales para medir y abordar los riesgos climáticos de manera confiable. El aprovechamiento eficaz de los datos climáticos para el monitoreo ambiental requiere normas, reglas y estándares claros que regulen su recopilación, clasificación, procesamiento, intercambio e integración en la toma de decisiones. Un marco sólido de gobernanza de datos permite establecer estos principios, fomentar la confianza entre proveedores y usuarios respecto al origen y la calidad de los datos, y aclarar las condiciones bajo las cuales pueden utilizarse. Estas condiciones también

El aprovechamiento eficaz de los datos climáticos para el monitoreo ambiental requiere normas, reglas y estándares claros que regulen su recopilación, clasificación, procesamiento, intercambio e integración en la toma de decisiones.

deben garantizar que los datos puedan ser comprendidos, utilizados y compartidos por múltiples actores para diversos propósitos —promoviendo la divulgación proactiva y la interoperabilidad—, al tiempo que se protegen tanto los propios datos como los derechos de sus titulares para generar confianza y equidad en su recopilación y uso.

La gobernanza de datos es un componente fundamental para respaldar la implementación sostenible de tecnologías digitales de conservación en la Amazonía.

Se recomienda elaborar un marco de gobernanza de datos de manera colaborativa con las personas y grupos cuyos datos se verán afectados por sus reglas. En la Amazonía, esto significa prestar especial atención a los derechos de los pueblos indígenas y las comunidades locales. De este modo, se garantiza que el marco se ajuste a un contrato social para la recopilación y el uso de datos, y lo convalide, respaldando el acceso equitativo a los datos y salvaguardando al mismo tiempo el derecho de las comunidades a definir su representación e influir en la forma en que los datos referidos a ellas, sus territorios y los ecosistemas locales se generan, comparten y utilizan en la toma de decisiones. Este enfoque es esencial para fomentar la confianza, la legitimidad y la participación significativa de los pueblos indígenas y las comunidades locales, que no solo son generadores y usuarios clave de datos climáticos, sino que también se encuentran entre los más vulnerables a los impactos del clima. Estas consideraciones se analizarán en mayor detalle a lo largo de este capítulo.

Las reglas de gobernanza de datos no surgen en el vacío: para ser eficaces, deben diseñarse en consonancia con objetivos de política claramente definidos y estar orientadas a abordar desafíos específicos. En la Amazonía, esto puede incluir cerrar brechas en la divulgación proactiva de datos o mejorar la interoperabilidad de los conjuntos de datos existentes.

Los responsables de formular políticas deben involucrar a todo el espectro de partes interesadas de este ecosistema, desde los productores locales de datos, incluidos los pueblos indígenas y las comunidades locales, hasta los proveedores de tecnología e investigadores. Esta participación es esencial para identificar los principales desafíos que enfrentan los países de la región amazónica en materia de datos y para determinar cómo pueden aprovecharse las políticas, las leyes, las regulaciones y las instituciones para abordarlos. En última instancia, este proceso ayuda a establecer un marco de gobernanza de datos coherente que responda a las necesidades del mundo real y se base en la colaboración.

Los desafíos que plantea la gobernanza responsable y eficaz de los datos climáticos son multidimensionales y abarcan cuestiones legales, técnicas, institucionales y de capacidad.

Para poder acceder a los datos generados por las tecnologías digitales y utilizarlos para respaldar las iniciativas de conservación ambiental, es necesario abordar su disponibilidad, accesibilidad, calidad y usabilidad, protegiendo al mismo tiempo su seguridad y los derechos sobre ellos. A continuación se aborda cada uno de estos aspectos:

Disponibilidad y accesibilidad de los datos: Facilitar el acceso a los datos implica decisiones tanto *normativas* como *técnicas*. Las decisiones *normativas* suponen determinar qué datos deben generarse o recopilarse para fines específicos, incluida la capacidad de medir riesgos ambientales o climáticos específicos que afectan a las comunidades locales, las especies amenazadas y las localidades. Realizar un análisis basado en los problemas y los riesgos con aportes de los pueblos indígenas y las comunidades locales y expertos técnicos (por ejemplo,

Recuadro 8: Los riesgos de recopilar datos climáticos

La recopilación y el procesamiento de ciertos tipos de datos climáticos pueden ser inherentemente riesgosos:

Los datos transmitidos mediante tecnologías de teledetección y sensores de campo (véase el capítulo 1) pueden contener información delicada —como datos sobre la ubicación de personas, comunidades o especies en peligro de extinción— o grabaciones de voz que pueden ser utilizadas por actores malintencionados, como los cazadores furtivos, o para vigilar a las poblaciones locales.

El uso de cámaras trampa y sensores acústicos conlleva el riesgo de que se tomen fotos y grabaciones de audio que resulten intrusivas y contengan información sensible sobre las comunidades indígenas. Las imágenes de las cámaras trampa podrían permitir el reconocimiento facial de los pueblos indígenas de la Amazonía.¹

Otros tipos de datos sensibles son las coordenadas geográficas de sitios de importancia cultural o espiritual y los componentes de las prácticas ceremoniales indígenas.² Las filtraciones de datos pueden exponer a las personas, las comunidades y las organizaciones, así como al ecosistema del bioma amazónico.

Al mismo tiempo, es fundamental recopilar y procesar datos pertinentes, actualizados, adecuados para los fines previstos y debidamente estructurados, incluidos los referidos a los ecosistemas locales, para que los encargados de tomar decisiones puedan adoptar medidas de adaptación y mitigación de los riesgos climáticos.³

1 Sandbrook y otros (2021).

2 Schilfgaard (2020).

3 Carvalho (2023).

círculos académicos, sociedad civil y especialistas del sector) es fundamental para garantizar que los datos pertinentes estén disponibles para su uso (preferentemente público). Aunque los datos sobre el cambio climático en la Amazonía existen, no siempre son accesibles: a menudo no se divulgan de forma proactiva ni por medios que faciliten su reutilización, como un portal centralizado donde puedan encontrarse y descargarse fácilmente desde distintas fuentes.

Los desafíos relacionados con la accesibilidad se agravan cuando se trata de monitorear los riesgos climáticos que requieren medir diferentes variables distribuidas en distintos conjuntos de datos, o recopiladas o procesadas por una variedad de productores de datos. En un relevamiento no exhaustivo de las fuentes de datos climáticos existentes, realizado como referencia para este informe, se señaló que, aunque existen diversas fuentes, no son de fácil acceso para el público y no siempre se divulgan de manera proactiva, sino que, por el contrario, solo están disponibles previa solicitud. Si bien en este informe no se recomienda almacenar todos los datos climáticos de forma centralizada, facilitar la consolidación de conjuntos de datos mediante

70 Por ejemplo, la Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) es un consorcio de OSC de los países amazónicos, respaldado por socios internacionales, que trabaja por la sostenibilidad socioambiental de la Amazonía. Como tal, produce y difunde conocimiento, datos estadísticos e información socioambiental geoespacial sobre la Amazonía elaborados mediante protocolos comunes a todos los países de la región. Asimismo, ofrece una visión del bioma amazónico en su conjunto, que incluye la elaboración de mapas de amenazas e informes de inteligencia socioambiental para facilitar los esfuerzos de monitoreo y mitigación. La RAISG es el resultado de la cooperación entre ocho OSC de seis países amazónicos: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

71 Por ejemplo, en su nueva visión, la OTCA incluye a instituciones no gubernamentales en el comité directivo del Observatorio Regional de la Amazonía (ORA), entre ellas el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, y también está considerando la posibilidad de establecer alianzas con OSC que puedan recopilar datos. Consulte este enlace como referencia

intermediaciones técnicas que unifiquen el acceso del lado del usuario (por ejemplo, a través de un portal central) podría contribuir significativamente a la accesibilidad. La reunión de todos estos datos en un único portal público sería clave para la gestión del cambio climático en la región amazónica. La centralización de los datos y la información no es el objetivo, ya que este enfoque aumenta los riesgos vinculados a la protección de datos y la ciberseguridad, y puede generar un punto único de falla. Por el contrario, facilitar el acceso a los datos invirtiendo en intermediarios integradores (ya sean organizativos o técnicos) para proporcionar una serie de repositorios comunes y disponibles públicamente de fuentes de datos e indicadores clave alojados en redes federadas permite promover la accesibilidad, reducir los silos de información y ofrecer una visión más integral de los riesgos climáticos que enfrenta la Amazonía. Esto permitiría además que un abanico más amplio de actores de distintos sectores lleven a cabo tareas de monitoreo, investigación y promoción.

Ninguna institución de la región tiene la capacidad de recopilar, almacenar y publicar datos climáticos a través de un portal unificado. Las alianzas entre las instituciones amazónicas y los actores regionales o internacionales ofrecen un camino prometedor para facilitar la consolidación y accesibilidad de los datos. Al elegir qué institución o instituciones gestionarán los portales de datos y otros mecanismos de intermediación, deben tenerse en cuenta factores como su mandato legal y político, sus funciones principales y su sostenibilidad operativa y financiera. Para asumir ese rol de liderazgo, es fundamental que la entidad responsable goce de legitimidad y reconocimiento entre los demás actores, incluidos sus vínculos con grupos de partes interesadas consolidados. Las organizaciones de la sociedad civil que operan en los distintos países de la cuenca amazónica podrían ser aliadas clave para impulsar esfuerzos coordinados de recopilación de datos.⁷⁰ Si bien las iniciativas gubernamentales pueden ser eficaces para exigir el intercambio de datos del sector público, en muchos casos los consorcios o coaliciones de múltiples partes interesadas pueden resultar más eficaces, siempre que incluyan grupos consolidados y cuenten con la capacidad técnica para recopilar, analizar y difundir datos. Esto es especialmente cierto cuando los repositorios comunes de datos incluyen información recopilada de un amplio conjunto de participantes o se refieren a áreas en disputa.⁷¹ Independientemente de qué partes interesadas participen, estas iniciativas requieren una

Oficial de policía en la Amazonía (Brasil)



Fotografía: Mariana Ceratti (Banco Mundial).

evaluación rigurosa y basada en evidencias de sus costos financieros y operativos, incluida la cuestión de cómo garantizar su sostenibilidad financiera cuando se financian mediante donantes o a través de proyectos —y podrían estar, por tanto, sujetas a plazos definidos.⁷²

Al determinar las modalidades de acceso a los datos climáticos, es importante tener en cuenta tanto el tipo de datos en cuestión como su uso previsto. Si el objetivo de las iniciativas de accesibilidad es promover el acceso público a conjuntos de datos “abiertos”, invertir en el desarrollo de portales diseñados como “bienes públicos mundiales” podría permitir que una variedad más amplia de partes interesadas —como responsables de formular políticas, científicos y el público en general— acceda a datos climáticos y los utilice sin restricciones. La colaboración entre la Asociación para la Conservación de la Amazonía y el MAAP sobre la dinámica del carbono forestal es un ejemplo de iniciativa eficaz para facilitar la toma de decisiones basada en evidencias en el Gobierno peruano. No todos los datos deben ser “abiertos” para ser relevantes en el monitoreo climático y otros usos ambientales. En algunos casos, la intermediación de datos puede ayudar a mejorar el acceso a datos de terceros —comerciales, gubernamentales de carácter sensible, etc.— de manera restringida, por ejemplo mediante condiciones de licencia más restrictivas y mecanismos técnicos como las interfaces de programación de aplicaciones. Ambas modalidades de acceso son importantes, ya que persiguen objetivos diferentes que apuntan a respaldar el mismo resultado final de mejorar el acceso a los datos climáticos.

Calidad de los datos: Los datos ambientales sobre la Amazonía se recopilan desde múltiples fuentes y son

procesados por distintas entidades en el marco de diversas iniciativas. Por lo tanto, los estándares de procesamiento, almacenamiento y calidad de los datos no siempre son uniformes. Un dato de calidad es aquel que resulta pertinente, se actualiza con una frecuencia acorde a su naturaleza, incluye registros históricos que permiten el análisis de series temporales y ha sido validado para garantizar su exactitud. Por ejemplo, los sistemas de IA implementados con fines de monitoreo requieren datos de calidad. En este contexto, los algoritmos de monitoreo acústico requieren específicamente que se depuren los datos para garantizar que el ruido no interfiera con el proceso de aislar los sonidos relevantes. Al mismo tiempo, es importante que en el marco de gobernanza de datos se tenga en cuenta la heterogeneidad de los usuarios y los fines para los que podrían utilizarse los datos climáticos. Un grupo de investigadores podría beneficiarse de algoritmos de monitoreo acústico “depurados”, mientras que otro podría identificar patrones en el “ruido” que pueden aprovecharse para investigar un tema diferente.⁷³ Por ello, quienes elaboran un marco de gobernanza de datos deberían recurrir a herramientas como el etiquetado y los metadatos, así como a notas explicativas que acompañen a los conjuntos de datos, con el fin de alertar a los distintos investigadores sobre los posibles usos, manteniendo al mismo tiempo el conjunto de datos publicado tan depurado y homogéneo como sea posible.

Los sistemas de IA utilizados con fines de monitoreo requieren datos de calidad. En este sentido, los algoritmos de monitoreo acústico necesitan específicamente que se limpien los datos para garantizar que el ruido no interfiera en el proceso de aislar los sonidos relevantes.

Campamento Tierra Libre, evento anual organizado por la Articulación de los Pueblos Indígenas de Brasil, para generar mayor conciencia sobre los derechos indígenas



Fotografía: Felipe Spina.

⁷² Véase, por ejemplo, SERVIR, una alianza entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y científicos y expertos en Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, Guyana y Suriname. Dichos actores desarrollaron y gestionaron SERVIR-Amazônia para reunir el conocimiento local en tecnología geoespacial y de observación de la Tierra con el fin de adaptar los servicios de apoyo a la toma de decisiones para prevenir desastres naturales, mitigar el cambio climático y frenar la deforestación en la cuenca amazónica. Tras el cierre de USAID, los socios decidieron continuar el programa en el marco de un consorcio para garantizar la continuidad de este repositorio público de datos.

⁷³ Para obtener más información, consulte el programa Argo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, que recopila datos físicos y biogeoquímicos del océano. Los sensores de Argo recopilaron “ruido” sobre especies distintas del plancton que fueron clasificados como datos “malos” según las reglas de evaluación de calidad del programa, pero los biólogos que estudian especies mesopelágicas los consideraron valiosos.

Usabilidad de los datos: La usabilidad de los datos está condicionada por factores como el grado de restricción con que se clasifican en origen (según el marco de clasificación aplicable). El marco determina los fines para los que se recopilaban o generaron los datos y establece en qué medida y con qué restricciones pueden compartirse con terceros. Para que los conjuntos de datos clasificados puedan reutilizarse, es necesario garantizar que se compartan conforme a términos de reutilización claros, accesibles e irrevocables. Otros factores que determinan la usabilidad de los datos son su formato (legibilidad por máquina y formato abierto) y la exhaustividad de los metadatos que se acompañan. En el caso de la Amazonía, el sistema debe incorporar a distintos grupos de usuarios que puedan proporcionar metadatos en inglés, portugués y español, así como en idiomas menos comunes como el neerlandés surinamés y las lenguas indígenas.⁷⁴ Según el análisis presentado en este informe, aunque la mayoría de los datos climáticos en la región amazónica se publican en formatos legibles por máquinas, no siempre van acompañados de metadatos ni de información sobre licencias. Si bien los datos espacialmente explícitos, es decir, los mapas, suelen ser completos en cuanto a metadatos y calidad de datos, pueden generar problemas políticos cuando representan territorios en disputa.⁷⁵ En cambio, los datos puntuales o de estación, como los de estaciones meteorológicas, presentan mayores deficiencias en términos de disponibilidad, calidad y cobertura espaciotemporal (véase el recuadro 9). Pese a que los países y las organizaciones productoras de datos tienen discrecionalidad en cuanto a los tipos de licencias y normas que adoptan, pueden facilitar la reutilización y la interoperabilidad de los datos alineándose con estándares internacionales, como la resolución sobre la Política Unificada de Datos de la Organización Meteorológica Mundial, que exige la producción de determinados tipos de datos para alimentar los modelos climáticos.

Sesgo y representación de los datos: Las poblaciones indígenas y los territorios remotos siguen estando insuficientemente representados en los datos sobre la Amazonía. Si bien esto puede obedecer legítimamente a una decisión propia —por ejemplo, para evitar la vigilancia o ser objeto de acciones legales—⁷⁶, la falta de representación de los pueblos indígenas y las comunidades locales y sus territorios puede afectar la capacidad de los responsables de formular políticas y los investigadores para garantizar que en la toma de decisiones se incluyan datos más representativos y específicos. Un número considerable de comunidades indígenas aún no figura en la planificación gubernamental actual. La falta de reconocimiento legal (por ejemplo, en Suriname) da lugar a una transferencia inadecuada de la tenencia de la tierra y los derechos conexos a las comunidades indígenas, lo que les impide gestionar esas tierras de manera sostenible.⁷⁷ El cambio climático ha agravado de manera desproporcionada la vulnerabilidad de los pueblos indígenas y las comunidades locales ante la escasez de alimentos, las enfermedades y los eventos

climáticos extremos⁷⁸; contar con datos más representativos podría ayudar a monitorear estos eventos con mayor precisión y permitir la adopción de políticas correctivas. Por razones geográficas, los terrenos remotos rara vez están representados de manera adecuada. Un ejemplo de ello es la distribución desigual de las estaciones meteorológicas en la Amazonía brasileña, que se concentran principalmente en las proximidades de los ríos principales. Esto ha hecho que las alertas tempranas sobre eventos climáticos extremos (como tormentas eléctricas o aguaceros) que ocurren en regiones remotas no lleguen a tiempo y dependan de comunicaciones informales.

Recuadro 9: Recopilación de datos meteorológicos y climáticos en Brasil

En la Amazonía brasileña la recopilación de datos meteorológicos y climáticos presenta graves deficiencias. El mapa muestra la cobertura de las estaciones meteorológicas en el territorio brasileño certificadas por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET). En verde, las estaciones automatizadas (transferencia de datos mediante conexión satelital); en azul, las estaciones convencionales (recopilación y transferencia de datos a cargo de operadores humanos), y en violeta, los pluviómetros automáticos.



Fuente: INMET, Mapa de estações.

Algunos riesgos vinculados con la privacidad y el acceso se relacionan específicamente con las tecnologías de la información y los datos recopilados por los pueblos indígenas o de su propiedad.⁷⁹ Estos riesgos pueden mitigarse garantizando que las prácticas de recopilación, procesamiento y uso de datos se basen en principios como el FAIR (del inglés: “encontrable, accesible, interoperable, reutilizable”) y el CARE (del inglés: “beneficio colectivo, autoridad de control, responsabilidad, ética”), y estén alineados con ellos⁸⁰, además de restringir la divulgación de datos sobre la ubicación de especies sensibles para evitar el uso indebido (como el de los cazadores furtivos).⁸¹

⁷⁴ Véase el proyecto Local Contexts (Contextos Locales), en cuyo marco se ha desarrollado, con el apoyo del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, un estándar para el etiquetado de datos indígenas.

⁷⁵ Algunos ejemplos son Venezuela y Guyana, Suriname y Guyana.

⁷⁶ Véase Friedman, S. (2025), *The Law of the Sea Goes Digital—Indigenous Peoples’ “Right to Exclude” Their Traditional Knowledge from the Digital Sphere*.

⁷⁷ Webb y otros (2020).

⁷⁸ Song y otros (2020); Schilfgaard (2020).

⁷⁹ Adams (2024).

⁸⁰ Como ejemplo, pertinente para América del Norte, véase Adams, M. M., “Indigenous Fire Data Sovereignty: Applying Indigenous Data Sovereignty Principles to Fire Research”.

⁸¹ Existen leyes que restringen la divulgación de datos sobre la ubicación de especies en peligro de extinción (véanse, por ejemplo, las mejores prácticas de Global Biodiversity Information Facility).

Diseño de un marco de gobernanza de datos para apoyar los esfuerzos de conservación basados en datos en la Amazonía

El diseño de un marco de gobernanza de datos que permita hacer frente a los desafíos mencionados requiere la adopción de normas, reglas, procesos y estándares acordados que rijan la gestión de los datos y su infraestructura en apoyo de objetivos de política específicos.⁸² Al mismo tiempo, es fundamental recopilar y procesar datos pertinentes, actualizados, adecuados para los fines previstos y debidamente estructurados para que los encargados de tomar decisiones puedan adaptarse al cambio climático y mitigarlo.

Los responsables de la toma de decisiones de los sectores público y privado necesitan contar con panoramas sólidos de los riesgos y oportunidades reales y potenciales sobre el terreno que pueden afectar a las empresas que operan en la región amazónica. Los datos pueden ayudar a los administradores de activos privados, los bancos y las corporaciones —así como a los administradores públicos y los responsables de la formulación de políticas— a mejorar la diligencia debida arrojando luz sobre las realidades locales y ofrecer una nueva perspectiva sobre los impactos territoriales que va más allá de los estándares ambientales, sociales y de gobernanza internacionales a nivel macro.

—Carvalho, 2023

Permitir el intercambio y la reutilización de datos para la conservación del medio ambiente como objetivo de política presupone que los datos pueden ser reutilizados para distintos fines (legítimos) y por múltiples partes interesadas sin perder valor, dado que son intrínsecamente no rivales. Por lo tanto, promover el acceso a la información y la divulgación proactiva de datos, respaldar su interoperabilidad y facilitar los flujos transfronterizos son componentes fundamentales de un marco de gobernanza de datos, ya que contribuyen a la formulación de políticas basadas en evidencias y a la gestión de los riesgos ambientales.

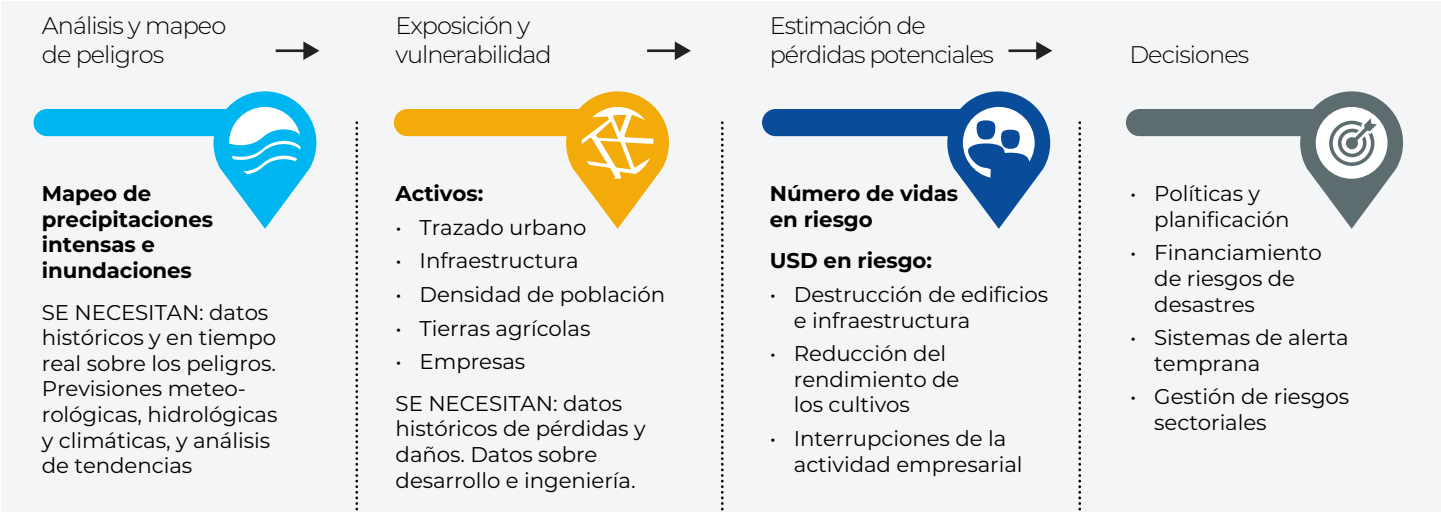
En el gráfico 3.2 se utilizan datos sobre inundaciones para proporcionar un ejemplo de los tipos de datos y actividades de procesamiento necesarios para responder a los riesgos de inundación. Para elaborar un mapa de riesgos eficaz, es necesario acceder a dos subtipos de datos:

- datos sobre mapeo de peligros (una forma de datos observacionales)
- datos históricos sobre pérdidas y daños

En ambos se agregan datos de distintas fuentes y en diferentes condiciones de procesamiento. El procesamiento de este tipo de datos genera un modelo de riesgo para las inundaciones que, a su vez, puede orientar las políticas de adaptación al cambio climático. En este proceso, las actividades que supone combinar este tipo de datos de alta calidad, acceder a ellos y ponerlos a disposición para formular políticas climáticas forman parte de la gobernanza de datos.

La implementación de un marco de gobernanza de datos requiere que instituciones eficaces desempeñen funciones clave, que van desde respaldar el desarrollo de reglas y procesos que regulen qué datos deben recopilarse, procesarse, utilizarse y compartirse, y cómo hacerlo, hasta garantizar su cumplimiento y, desde luego, gestionar los propios activos de datos. Si bien muchas de estas funciones (es decir, la elaboración de políticas, leyes y reglamentos que se aplican a los datos) están a cargo de entidades del sector público, las partes interesadas no gubernamentales desempeñan un papel fundamental en la gobernanza de datos: desde el sector privado en la formulación de estándares técnicos y la definición de términos contractuales o de licencias, hasta los círculos académicos e incluso los “científicos ciudadanos” en la recopilación y el mantenimiento de bases de datos clave, a veces en asociación con Gobiernos, organizaciones internacionales y la comunidad de donantes.

Gráfico 3.2: Implementación de la gobernanza de datos en la práctica



Fuente: Comité de Adaptación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (2020).

82 The Newberry (s. f).

A partir de un análisis de las fuentes de datos existentes sobre datos climáticos pertinentes para la región amazónica, este capítulo se centra en los elementos habilitantes y de salvaguarda clave de un marco de gobernanza de datos que puede ayudar a mejorar la accesibilidad y la usabilidad de estos datos. Esto incluye respaldar la divulgación proactiva y la interoperabilidad de los datos, así como mejorar la eficacia y la coordinación de las iniciativas locales, regionales e internacionales que actualmente facilitan la recopilación y el intercambio de datos climáticos sobre la Amazonía. En este sentido, el Banco Mundial, a través del Programa ASL —una iniciativa financiada por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y dirigida por el Banco Mundial—, proporciona

asistencia técnica para modernizar el ORA de la OTCA. Este apoyo comprende el fortalecimiento de la capacidad del ORA para integrar y compartir datos científicos y de monitoreo de alta calidad (por ejemplo, sobre clima, hidrología, incendios y puntos de inflexión ecológicos), el fomento de la coordinación institucional entre los países amazónicos, la mejora de herramientas y plataformas para la elaboración de modelos predictivos y en tiempo real, y la comunicación para respaldar la toma de decisiones. Se espera que estas mejoras permitan al ORA apoyar de manera más eficaz a los responsables de la formulación de políticas y las partes interesadas en la adopción de las medidas necesarias para evitar que la Amazonía llegue a su punto de inflexión.

Generar mejores perspectivas mediante la interoperabilidad, integración y accesibilidad de las fuentes de datos

La interoperabilidad de los datos se refiere a:

“la capacidad de distintos sistemas para compartir y utilizar datos de manera coordinada y oportuna” — Adeleke, 2022⁸³

Para que la interoperabilidad de datos se haga efectiva y para que los datos y los sistemas puedan “comunicarse entre sí” (y combinarse para generar información más valiosa), se debe contar con un marco que rija la interoperabilidad legal, organizativa, técnica y semántica. Por ejemplo, aplicar estándares unificados a los datos sobre el uso de la tierra de distintas bases de datos, como TerraBrasilis y AdaptaBrasilia, permite combinarlos para generar información más avanzada. Sin embargo, para llevar a la práctica este enfoque es preciso tener en cuenta aspectos técnicos, semánticos, jurídicos y organizativos que incluyen:

- **Respaldar la interoperabilidad técnica.** La interoperabilidad técnica requiere considerar cómo pueden comunicarse entre sí las interfaces que alojan datos. En el contexto de la Amazonía, los datos satelitales, los sensores terrestres, las observaciones comunitarias y los registros históricos pueden integrarse o hacerse interoperables para facilitar la confección de mapas exhaustivos y modelos analíticos. La plataforma Gundi, por ejemplo, integra datos de múltiples tecnologías y sensores de conservación, incluidos sensores del sistema global de navegación por satélite (GNSS), dispositivos de IdC y sistemas de comunicación fuera de la red eléctrica, para monitorear el medio ambiente de manera integral.
- **Formular estándares que respalden la interoperabilidad semántica.** La interoperabilidad semántica implica armonizar los formatos en que se comparten o difunden los datos, estandarizar los modelos de datos y adoptar vocabularios y taxonomías compartidos, entre otros elementos. La integración de datos de cámaras trampa —por ejemplo, con datos acústicos— ayuda a los conservacionistas a identificar de qué manera las actividades humanas afectan a las especies endémicas en ecosistemas específicos. Sin embargo, para que estos datos puedan interoperar es necesario contar con estándares, cuyo contenido incluye

especificaciones técnicas sobre formatos, ontologías y legibilidad por máquina, entre otros elementos. La adopción coordinada de estándares (idealmente, reconocidos a nivel internacional) es un elemento importante para garantizar que los datos recopilados de la cuenca amazónica puedan contribuir a los esfuerzos de monitoreo regionales y mundiales.⁸⁴ La falta de interoperabilidad, tanto entre los países de la región amazónica como dentro de ellos, sigue siendo un desafío. Para hacer frente a esta situación se requiere coordinación estratégica y técnica entre los organismos competentes, tarea que podría recaer en un organismo regional con la capacidad técnica necesaria para liderar dicha iniciativa.

- **Adoptar reglas claras para orientar la interoperabilidad legal.** Los marcos jurídicos pueden contribuir a facilitar la interoperabilidad de los datos al proporcionar un entorno predecible para el uso de los datos climáticos. En primer lugar, pueden exigir la interoperabilidad, incluso mediante la obligación de que los datos se recopilen una sola vez (principio de “una sola vez”). En segundo lugar, definir claramente las normas de acceso a los datos, ya sea mediante acuerdos de intercambio o la adopción de una licencia de datos abiertos (por ejemplo, Creative Commons ShareAlike), orienta a los usuarios sobre las condiciones bajo las cuales pueden acceder a los datos climáticos y utilizarlos. Los acuerdos de licencia deben incluir condiciones que maximicen la reutilización y, al mismo

Aplicaciones móviles para la conservación



Fotografía: Ila Verus (CPI-Acre).

⁸³ Véanse también https://developmentgateway.org/wp-content/uploads/2025/02/Interoperability-Paper_DG_2024.pdf y https://www.data4sdgs.org/sites/default/files/services_files/Interoperability%20-%20A%20practitioner%E2%80%99s%20guide%20to%20joining-up%20data%20in%20the%20development%20sector.pdf.
⁸⁴ Buxton y otros (2018).

tiempo, aborden las obligaciones relacionadas con la protección de los derechos de propiedad intelectual y las consideraciones relativas a la protección de los datos. Esto puede lograrse permitiendo la reutilización de los datos para fines comerciales y no comerciales, conservando al mismo tiempo el derecho de atribuir dichos datos al autor original. Si bien garantizar la flexibilidad en los términos de las licencias puede ser útil, también puede generar tensiones entre los diferentes grupos de usuarios. En particular, pueden surgir conflictos entre quienes buscan extraer valor comercial de los datos y quienes dependen de su recopilación para fines locales, comunitarios o no comerciales (por lo general, comunidades marginadas).

- **Establecer la arquitectura organizativa adecuada para promover la interoperabilidad en la práctica.**

Reconociendo que los Gobiernos ejercen un mayor control sobre los datos del sector público que sobre los del sector privado, un marco de gobernanza de datos debe exigir la divulgación de los datos climáticos cuando resulte viable, y crear incentivos para que las partes interesadas no gubernamentales, incluidas las instituciones públicas cuando corresponda, compartan datos entre sí y con terceros. Esto puede promover la interoperabilidad entre diferentes tipos y fuentes de datos.

Los responsables de formular políticas que buscan aprovechar los mecanismos normativos, legales, regulatorios

e institucionales para respaldar la interoperabilidad de datos en el sector público y con terceros pueden crear marcos organizativos y estándares. Estos marcos deben tener como objetivo alinear los procesos, estandarizar el uso de datos, garantizar la integración técnica y cumplir con los requisitos legales para el intercambio de datos entre entidades del sector público, como en el caso de la Ley de Gobierno Digital de Perú.⁸⁵ La implementación de estos marcos y estándares exige que las entidades alineen sus objetivos y procesos internos para facilitar el intercambio de datos. Las políticas de acceso a los datos y los acuerdos de intercambio de datos, cuando son claros y flexibles, también pueden facilitar el intercambio de información entre organizaciones al establecer normas y reglas más detalladas sobre el intercambio de conjuntos de datos específicos, los fines perseguidos y las garantías entre las partes interesadas.

Las particularidades de la región amazónica pueden requerir términos específicos que contemplen el contexto local; por ejemplo, las normas o prácticas adoptadas por las comunidades locales (incluidas las prácticas de gestión indígena), cuando estas figuren entre las partes interesadas. Una política de datos abiertos adecuada, complementada con reglas organizativas o contractuales, puede contribuir a mitigar estos desafíos y, al mismo tiempo, poner a disposición datos de alta calidad para la toma de decisiones.

Agricultores locales asisten a un taller sobre ecología y organización social en Vila Da Canoas, en la región amazónica de Brasil, cerca de Manaus



Fotografía: Julio Pantoja (Banco Mundial).

⁸⁵ El artículo 28 del Decreto Legislativo 1412 de 2018 define cuatro niveles de interoperabilidad: organizativo, semántico, técnico y legal.

Actores clave para la gobernanza de datos en la Amazonía

Para lograr un sistema de gobernanza de datos integrado y eficaz en la Amazonía, se requiere la contribución de una amplia gama de partes interesadas (véase el gráfico 3.3). Cada grupo desempeña un papel fundamental en el ecosistema

de datos. Aprovechar y combinar sus fortalezas, y atender sus inquietudes, es esencial para desarrollar un marco de gobernanza de datos sostenible que se alinee con las normas del contrato social acordado.

Gráfico 3.3. Mapeo de las partes interesadas clave en el ecosistema de la gobernanza de datos climáticos de la Amazonía

						
Sector público	Sector privado	Instituciones académicas y de investigación	Organizaciones regionales	Organizaciones internacionales	OSC	Pueblos indígenas y comunidades locales
Genera, procesa y utiliza datos climáticos, hidrológicos y ambientales para formular políticas, planificar y prestar servicios.	Es tanto usuario como productor de datos relevantes para el clima; contribuye a través de imágenes satelitales, sensores y soluciones analíticas, y utiliza los datos públicos para la gestión de riesgos y la planificación.	Promueven la elaboración de modelos climáticos, la integración de datos y la innovación; colaboran con asociados públicos, indígenas e internacionales.	Promueven la elaboración de estándares, la interoperabilidad y la coordinación; brindan apoyo a los sistemas conjuntos de monitoreo y la integración transfronteriza.	Financian iniciativas que mejoran la infraestructura de los datos, la capacidad institucional y los marcos de gobernanza en los países de la Amazonía.	Facilitan la divulgación de datos, la transparencia y el monitoreo participativo; conectan los datos científicos y los generados por la comunidad con el público en general.	Producen y utilizan datos mediante el monitoreo comunitario de los bosques y la biodiversidad, y la gestión de incendios, integrando los conocimientos tradicionales y científicos.

 **Sector público:** Los Gobiernos son los principales encargados de recopilar datos públicos y siguen siendo la piedra angular de la gobernanza de datos climáticos. Los organismos públicos nacionales pueden eliminar los compartimentos estancos internos dentro de un país con el intercambio de datos entre diferentes departamentos y el desarrollo conjunto de sistemas de información integrados. Un avance positivo de los últimos cinco años radica en que algunos países han aprobado leyes o reformas para mejorar la gobernanza de datos climáticos. Por ejemplo, con la Ley Marco sobre Cambio Climático de Perú (2018) se creó un sistema de inventario nacional de gases de efecto invernadero denominado INFOCARBONO para centralizar los datos sobre las emisiones. Este mandato legal exige a los organismos compartir los datos en un único sistema.⁸⁶ De modo similar, muchos países están adoptando políticas de datos abiertos y adhiriéndose al Acuerdo de Escazú, que los compromete a poner la información ambiental a disposición del público y de los demás Gobiernos.⁸⁷ Se alienta a los organismos públicos a implementar y estandarizar la forma en que se recopilan los datos (de modo que una base de datos nacional sirva para múltiples fines), a participar activamente en la coordinación regional y a garantizar la calidad y la continuidad de los datos.

 **Sector privado:** Dado que proporciona la tecnología con la que se recopilan, generan y procesan los datos, así como la infraestructura a través de la cual fluyen, el sector privado (desde empresas tecnológicas hasta proveedores de telecomunicaciones y consultoras ambientales) influye en el diseño y la implementación de los marcos y las prácticas de gobernanza de datos en la Amazonía. Las empresas de telecomunicaciones pueden ampliar la conectividad en la región, teniendo en cuenta que las redes de buena calidad son un requisito imprescindible para la transmisión de datos en zonas remotas. Los proveedores de servicios en la nube y las grandes empresas tecnológicas también ofrecen apoyo. Al mismo tiempo, la dependencia respecto de la infraestructura de datos o de aplicaciones tecnológicas patentadas para el procesamiento de información puede generar inquietudes acerca de los derechos de propiedad intelectual que restringen el acceso a los datos, algo que debe tenerse en cuenta en los términos de las licencias negociadas, así como inquietudes más generales sobre la consolidación del control de la infraestructura básica en manos del sector privado.

Recuadro 10: El papel de la cooperación público-privada

La cooperación público-privada es fundamental para crear amplios repositorios de datos relacionados con la mitigación del cambio climático, aunque son pocos los marcos normativos y jurídicos vigentes que imponen al sector privado obligaciones aplicables respecto de la divulgación de sus datos. Las leyes convencionales sobre datos abiertos no se aplican al sector privado. Además, dichos datos pueden estar protegidos adicionalmente por formar parte de una base de datos pertinente o por estar encuadrados en las salvaguardas de los derechos de propiedad intelectual, lo que restringe su difusión. Pero hay excepciones, por ejemplo, en el caso de las leyes que exigen la divulgación de determinados tipos de datos ("conjuntos de datos de alto valor", por ejemplo) o entre grupos específicos (por ejemplo, de las empresas al Gobierno o de las empresas a centros de investigación). Las instituciones existentes

también pueden desarrollar plataformas que fomenten la difusión voluntaria de datos. Un ejemplo de esto es la iniciativa AdaptAcción de Perú, aunque la posibilidad de replicarla es limitada, ya que las empresas divulgan principalmente los datos que presentan en sus informes, y no los generados comercialmente (y, por lo tanto, privados). Con esta plataforma, mantenida por el Ministerio del Ambiente, se está creando una biblioteca de medidas adaptativas adoptadas por las empresas de Perú. El portal se complementa con recursos adicionales, como conjuntos de herramientas y normas pertinentes, para facilitar dicha adaptación. Con el tiempo, si se cuenta con el financiamiento adecuado, la integración de esa información con los datos públicos puede contribuir a mejorar las políticas orientadas a fomentar los compromisos corporativos para hacer frente al cambio climático.

⁸⁶ Córdova y Lefevre (2016).

⁸⁷ Ortiz (2020).



Centros académicos e instituciones de investigación:

Las universidades, los centros de investigación y los grupos de estudio pueden complementar estos esfuerzos aportando los conocimientos técnicos y la innovación necesarios para mejorar las iniciativas de recopilación y gobernanza de datos. Desde el desarrollo de nuevas tecnologías para la recopilación y el análisis de datos (como el procesamiento avanzado de imágenes satelitales o la elaboración de modelos climáticos adaptados a la región) hasta las iniciativas académicas que ya han marcado el camino en algunas áreas, estas instituciones desempeñan un papel fundamental en la generación de evidencias, la orientación de las políticas y el fomento de la colaboración entre sectores. La red denominada MapBiomás, por ejemplo, fue impulsada por académicos y expertos de ONG que emplearon el aprendizaje automático para el mapeo de la cubierta terrestre.⁸⁸ Además, las universidades y los institutos de investigación pueden actuar como centros de innovación y como formadores, ayudando a estandarizar los protocolos de datos y llevando adelante talleres de capacitación e investigaciones conjuntas.⁸⁹ En un marco ideal de coordinación, las instituciones académicas deberían ser socios clave tanto en el diseño de los sistemas, para garantizar el rigor científico, como en la interpretación de los datos, para orientar las políticas mediante evaluaciones, alertas y herramientas de apoyo a la toma de decisiones.



Organizaciones regionales: Las organizaciones regionales desempeñan una función fundamental de coordinación en la gobernanza de datos climáticos en la Amazonía, ya que facilitan la colaboración

transfronteriza, armonizan los estándares y respaldan el intercambio de datos entre los países de la región. Dado que los procesos climáticos y ambientales en la cuenca del Amazonas son inherentemente transfronterizos, estas organizaciones contribuyen a reducir la fragmentación entre los sistemas nacionales de datos y promueven la interoperabilidad regional. Un ejemplo destacado es la OTCA (para más detalles, véase la siguiente sección). Las organizaciones regionales también actúan como intermediarias entre los Gobiernos nacionales y los marcos de alcance mundial, adaptando las normas internacionales a metodologías apropiadas para la región. Estos organismos convocan grupos de trabajo técnicos, brindan apoyo a las plataformas compartidas y facilitan el aprendizaje entre pares, con lo que contribuyen a reducir las asimetrías en la calidad y disponibilidad de los datos entre los países amazónicos. Su función es particularmente importante para mantener conjuntos de datos regionales a largo plazo y

sistemas de alerta temprana que dependen de la cooperación política y la continuidad institucional más allá de las administraciones nacionales.



Organizaciones internacionales: Las organizaciones internacionales son actores que ejercen gran influencia en la gobernanza de datos climáticos de la Amazonía debido a su papel como entidades que brindan financiamiento, establecen normas y ofician de socios técnicos. Los BMD, los organismos de las Naciones Unidas y las organizaciones ambientales internacionales suelen financiar el desarrollo de sistemas de datos nacionales y regionales, y determinan tanto el alcance de la recopilación de datos como los mecanismos de gobernanza que la rodean. También incorporan datos específicos sobre la Amazonía en plataformas y evaluaciones de alcance global, como mapas mundiales de cobertura forestal o índices de riesgo climático, lo que aumenta la visibilidad y la comparabilidad a nivel internacional. Sin embargo, esta influencia puede generar inquietudes acerca de la sostenibilidad de los sistemas financiados con fondos externos y la posible falta de alineación con las prioridades locales. Por lo tanto, una gobernanza eficaz de datos climáticos requiere que el apoyo internacional busque fortalecer las instituciones nacionales y la cooperación regional, en lugar de crear infraestructuras de datos paralelas que resultan difíciles de mantener una vez que se agota el financiamiento.



OSC: Las OSC desempeñan un papel fundamental en la gobernanza de datos climáticos en la Amazonía, puesto que actúan como productoras de datos, intermediarias y mecanismos de rendición de cuentas.

Las ONG, las organizaciones de base y los grupos de promoción con frecuencia recopilan, analizan y difunden datos ambientales y climáticos, en particular en áreas donde la presencia estatal es limitada o donde se necesita un monitoreo independiente para complementar los conjuntos de datos oficiales. Iniciativas como MapBiomás —lideradas por una coalición de ONG, universidades y socios técnicos— se han convertido en fuentes esenciales de datos coherentes y de acceso público sobre la cubierta terrestre y la deforestación, utilizados por igual por Gobiernos, periodistas e investigadores. Más allá de la producción de datos, las OSC desempeñan un papel fundamental en la gobernanza, ya que promueven la transparencia, examinan las acciones de los sectores público y privado, y abogan por prácticas de gestión de datos inclusivas y éticas. Muchas trabajan en estrecha colaboración con los pueblos indígenas y las comunidades locales, apoyando iniciativas de monitoreo comunitario y ayudando a traducir los datos generados localmente a formatos que puedan influir en

Parque Nacional Yanachaga- Chemillén, Perú

Fotografía:
Marlondag-Centro
para la Investigación
Forestal Internacional
Sol Mujeres SF 048.



88 Mulville y otros (2024).
89 Schaedler (2024).

las políticas, respetando al mismo tiempo el consentimiento y la propiedad de los datos. Por lo tanto, en los marcos de gobernanza de datos climáticos, actúan a la vez como contribuyentes técnicos y como actores normativos, dado que garantizan que el uso de los datos esté alineado con la justicia ambiental, la rendición de cuentas y los derechos de las comunidades.



Pueblos indígenas y comunidades locales: Los pueblos indígenas y las comunidades locales de la Amazonía son socios esenciales en la gobernanza de datos climáticos. A menudo detectan cambios en el entorno antes que los satélites o los observadores externos. Su función comienza con sus formas tradicionales de producción de conocimientos y sus prácticas. Con sus aportes y su consentimiento, es posible determinar el papel que pueden desempeñar los datos que ellos mismos proporcionan y recogen para ayudar a monitorear los riesgos climáticos. Como ejemplos de sus contribuciones a la recopilación de datos cabe citar los programas de monitoreo comunitario, en los que se capacita a la población local para que utilice las herramientas y aplicaciones descritas en el capítulo 1, como el GPS, las cámaras y las aplicaciones móviles, para registrar la deforestación, los avistamientos de vida silvestre, las precipitaciones o los niveles de los ríos. Estos programas pueden ampliar la cobertura espacial de los datos y mejorar las observaciones cualitativas. Además, al involucrar a estas comunidades en iniciativas sobre datos, se puede comprender más acabadamente y sobre la base de las evidencias sus conocimientos o prácticas específicos, que quizá estén subrepresentados en los datos existentes.

Sin embargo, es fundamental verificar que los marcos de gobernanza de datos se diseñen de manera tal que respeten los derechos de las partes interesadas, lo que incluye tener en cuenta las normas y la cultura indígenas. Cualquier plataforma regional de datos debe contar con protocolos para garantizar que la información generada por la comunidad no se publiquen ni se difundan sin su consentimiento, y que la comunidad se beneficie de los conocimientos adquiridos. Si bien este enfoque aún no se aplica de manera generalizada, se han formulado iniciativas para apoyar el desarrollo de mecanismos de acceso a los datos en los que se abordan las preocupaciones locales acerca de la expropiación de datos indígenas (ya sea porque se niega el acceso a los datos propiamente dichos o a las herramientas utilizadas para interpretarlos) y la representación injusta de las comunidades indígenas en los conjuntos de datos y los mecanismos de gobernanza.⁹⁰

Algunas iniciativas de recopilación comunitaria de datos se diseñaron en torno al concepto de soberanía indígena sobre los datos, que confiere a estas comunidades el derecho a gobernar, poseer, recopilar y aplicar sus propios datos⁹¹, incluido el control sobre el modo en que se los utiliza (por ejemplo, para entrenar la IA). Dichos datos abarcan los conocimientos indígenas y la información y datos digitales. En el contexto de la Amazonía, con esta soberanía se intenta

empoderar a las comunidades indígenas para garantizar su participación activa en la toma de decisiones sobre actividades como la tala, la delimitación territorial y la conversión de tierras forestales en pastizales u otras formas de tierras cultivables. Entre los modelos alternativos de gobernanza de datos figura la adopción de los principios CARE⁹², elaborados por la Alianza Global de Datos Indígenas.⁹³ En los principios se indica que el modelo óptimo de gobernanza es el que incluye la gestión y la custodia de los datos. La custodia implica hacer valer los derechos colectivos, además de los individuales, sobre los datos. Los primeros incluyen el derecho a la autodeterminación colectiva, mediante el cual las comunidades establecen cómo se extrae valor de los datos, en consonancia con sus intereses y los valores indígenas.⁹⁴

En comentarios posteriores sobre los principios CARE se determinó que se aplican también a los datos ambientales, lo que se corresponde con la posición de grupos como la Red de Soberanía sobre los Datos.⁹⁵ Específicamente, estos comentarios abogan por que las comunidades indígenas ejerzan una custodia ética de dichos datos, complementada con códigos de conducta definidos por las propias comunidades.⁹⁶ Entre otras consideraciones cabe mencionar la incorporación de salvaguardas que exijan un consentimiento específico y explícito⁹⁷ para el procesamiento de datos que involucren a comunidades indígenas. Sin embargo, estas recomendaciones se centran en los datos destinados a la investigación. Con el tiempo, también se requerirá una consideración cuidadosa de su aplicación a otros usos.

Recuadro 11: Salvaguardar la soberanía de los pueblos indígenas sobre los datos mediante el consentimiento libre, previo e informado

El principio de consentimiento libre, previo e informado permite a los pueblos indígenas otorgar o denegar su aprobación a proyectos que puedan afectar a sus miembros o a sus territorios.¹ Por lo general, este requisito se aplica a las actividades desarrolladas en el territorio. Sin embargo, cabe destacar que los recientes cambios jurídicos en los países de la Amazonía sugieren que también podrían aplicarse a los datos. En 2022, la Corte Constitucional de Ecuador señaló que el requisito del consentimiento libre, previo e informado en el marco de los proyectos en tierra no debe interpretarse como aplicable únicamente a dichos proyectos. Por tal motivo, debe obtenerse el consentimiento para las actividades que podrían afectar a las comunidades indígenas ambiental o culturalmente.² En relación con lo anterior, la Ley n.º 27 811 de 2002 de Perú exige que las entidades interesadas en acceder al conocimiento colectivo con fines científicos, comerciales o industriales obtengan el consentimiento libre, previo e informado de las organizaciones indígenas representativas. En concreto, la ley señala que las comunidades indígenas pueden disponer de su conocimiento colectivo de la forma que consideren adecuada.³ Tras solicitar el consentimiento, estas organizaciones deben, a su vez, comunicar la solicitud al mayor número posible de miembros de su comunidad. Considerados en conjunto, estos mecanismos jurídicos ponen de manifiesto el vínculo entre los datos y los derechos indígenas. En consecuencia, la implementación de un marco para obtener el consentimiento libre, previo e informado puede salvaguardar esos derechos y garantizar que los datos recopilados se utilicen para fines estrictamente vinculados con la mitigación y adaptación al cambio climático.

1 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016).

2 Amnistía Internacional (2022).

3 Gobierno de Perú (2002).

90 Cruz y otros (2020); More (2022).

91 Davies y otros (2019).

92 Beneficio colectivo, autoridad para controlar, responsabilidad, ética.

93 Alianza Global de Datos Indígenas (2018).

94 Carroll y otros (2020). Para consultar bibliografía sobre la participación de los pueblos indígenas en el entorno o los datos digitales, véanse, por ejemplo, *Co-producing autonomy? Forest monitoring programs, territorial ontologies, and Indigenous politics in Amazonia* y *The adoption of earth-observation technologies for deforestation monitoring by Indigenous people: evidence from the Amazon*.

95 Redes de Soberanía sobre los Datos Indígenas: <https://indigenousandatalab.org/networks/>

96 Angarova y otros (2022).

97 Por "consentimiento específico", nos referimos a los marcos en los que se busca obtener el consentimiento para cada actividad de procesamiento de datos. Por su parte, el "consentimiento explícito" se refiere a los mecanismos en los que se dan a conocer los riesgos asociados con la actividad de procesamiento de datos, e implica que las personas otorguen su consentimiento mediante una acción afirmativa clara. Las casillas marcadas de antemano no constituyen consentimiento explícito.

El desafío de la coordinación entre instituciones

Habitantes locales asisten a un curso sobre integración y participación dinámica con otros en la Amazonía brasileña



Fotografía: Julio Pantoja (Banco Mundial).

Las instituciones son fundamentales para diseñar y aplicar los marcos de gobernanza de datos, y pueden mejorar la coordinación de las diversas iniciativas de recopilación de datos climáticos en el bioma amazónico. Sin embargo, la coordinación es una tarea compleja y está fragmentada a nivel nacional y regional: varios ministerios, entidades y organizaciones operan en paralelo, con mandatos superpuestos y escasa coordinación. Esta fragmentación hace difícil obtener un panorama general del estado actual de la Amazonía y obstaculiza una acción climática eficaz. Se necesita un esfuerzo colectivo para mejorar la coordinación institucional y la colaboración en toda la región. En la siguiente sección se evalúa la situación de la región en la actualidad y se analiza cómo una institución regional como la OTCA podría ayudar a desarrollar un enfoque más integrado sobre la gobernanza para un uso más eficaz de los datos existentes, y llevar adelante un esfuerzo racionalizado y coordinado para detectar las nuevas necesidades de datos. También se examina el lugar que ocupan las instituciones académicas, los organismos públicos, el sector privado y las comunidades indígenas locales, partes interesadas fundamentales en un sistema integrado de datos.

En cada país amazónico, hay múltiples instituciones encargadas de recoger datos relacionados con el clima, entre ellas los ministerios de medio ambiente, los organismos forestales o agrícolas, los servicios meteorológicos e hidrológicos y los institutos de investigación. En Perú, el Instituto Geofísico de Perú (IGP) dirige el análisis climatológico a largo plazo y la investigación geofísica. En 2024, firmó un acuerdo con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) para mejorar el monitoreo y la investigación de los peligros climáticos, con lo que unificaron sus capacidades técnicas.⁹⁸ En Brasil, el Instituto Nacional de Investigación Espacial (NPE), a través de su Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC), elabora proyecciones climáticas a largo plazo utilizando su avanzada capacidad informática y sus conocimientos en modelización, y lidera el desarrollo del modelo computacional MONAN⁹⁹, que puede incluirse formalmente en la lista de modelos climáticos utilizados en los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).¹⁰⁰ En conjunto, el CPTEC, el INPE y el INMET monitorean las condiciones oceánicas que influyen en los patrones meteorológicos y climáticos estacionales en toda la Amazonía, como el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es la principal autoridad pública en el área de datos hidrometeorológicos, análisis climáticos y sistemas de alerta temprana. Gestiona los escenarios climáticos nacionales y mantiene una plataforma de servicios climáticos denominada Sistema de Información para la Gestión de Datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME), en la que se recopila información de observatorios regionales y locales para apoyar la gestión de riesgos y la planificación ambiental. En los países más pequeños, como Ecuador, Bolivia y las Guayanas, la capacidad es más limitada, y sus organismos gestionan los datos climáticos con escasos recursos, por lo que dependen del apoyo o de los datos internacionales. En todos los casos, las funciones institucionales han evolucionado, lo que ha dado lugar a un mosaico de esfuerzos de gobernanza de datos que no están en completa sincronía.

Los marcos jurídicos nacionales también varían de manera significativa. La legislación ambiental y las políticas sobre datos de los países amazónicos no están armonizadas.¹⁰¹ Por ejemplo, los enfoques para monitorear la deforestación deben basarse en políticas que se correspondan en su alcance, lo que incluye la coherencia en las definiciones de la terminología, la identificación y la medición, entre otros aspectos. Las limitaciones de las definiciones actuales de "bosque" y "deforestación", debidas, por ejemplo, a las variaciones entre geografías y contextos, dan lugar a la falta de congruencia en las estimaciones de la superficie de los bosques y la deforestación, por lo que incluso quedan sin contabilizarse una cantidad considerable de áreas deforestadas. Las definiciones actuales con frecuencia son también incompatibles con las observaciones satelitales utilizadas para monitorear los bosques y la deforestación. Esto no se limita a las asociaciones multilaterales; incluso dentro de un mismo país, las definiciones de bosque pueden variar.¹⁰²

98 SENAMHI Perú (2024).

99 Se trata de un sistema computacional desarrollado en Brasil (MONAN: Modelo para la Predicción Océano, Tierra, Atmósfera) que simula la interacción entre la atmósfera, los océanos, las superficies terrestres, el hielo y los sistemas vivos, basado en un modelo del sistema de la Tierra diseñado para captar estas dinámicas complejas.

100 Hoschsprung Miguel y otros (2019).

101 Estados Partes del Tratado de Cooperación Amazónica (2023).

102 Programa de Reducción de las Emisiones Debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal, Conservación y Gestión Sostenible de los Bosques y Aumento de las Reservas Forestales de Carbono (REDD+) de la CMNUCC (2024); Zalles y otros (2024).

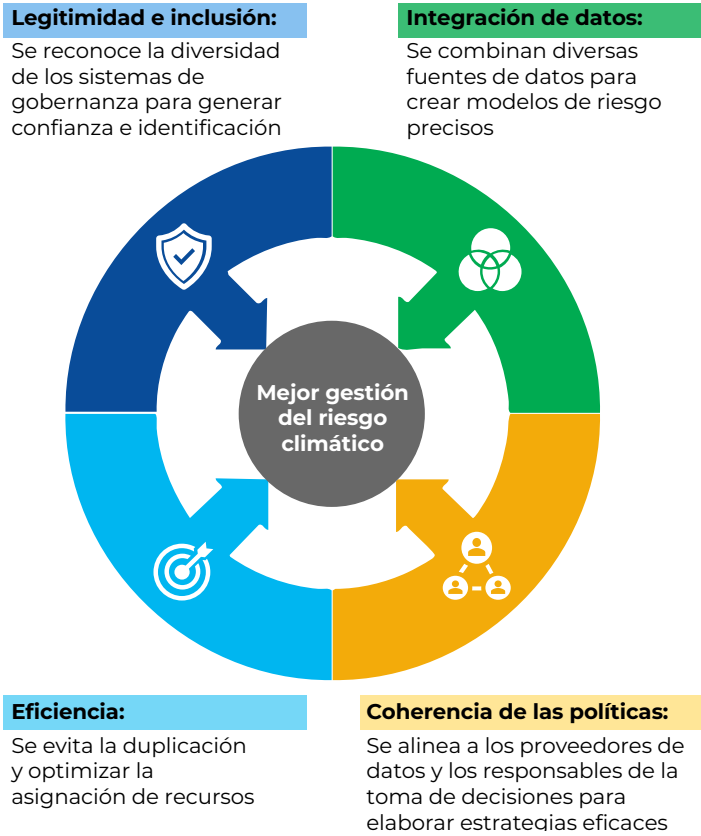
Un país puede exigir la publicación abierta de los datos sobre deforestación, mientras que otro los considera confidenciales o de propiedad exclusiva. Los métodos para medir los indicadores climáticos —como las tasas de deforestación, las emisiones de carbono o los niveles de agua— a menudo difieren entre los países, e incluso dentro de un mismo país, lo que dificulta la comparación. Esta falta de estandarización se deriva de la ausencia de requisitos vinculantes para la presentación normalizada de información en todos los países, incluso en lo que respecta a las contribuciones determinadas a nivel nacional.¹⁰³

Algunos aspectos de la interoperabilidad y el intercambio de datos exigen coordinación en diferentes niveles: local, nacional, regional e internacional. En el caso de las cuestiones climáticas que requieren el intercambio de información entre países, las instituciones públicas y académicas pueden facilitar la recopilación, consolidación, interconexión e intercambio de datos para la investigación y la toma de decisiones relacionadas con el cambio climático. El IDEAM y otras entidades han puesto en marcha diversas iniciativas para apoyar la interoperabilidad de los datos. Estos esfuerzos han permitido a dicho instituto sacar provecho de los portales y las aplicaciones de gestión y distribución de datos para emitir alertas ambientales más avanzadas basadas en datos en casos de fenómenos meteorológicos extremos, mediante la combinación de imágenes y datos geoespaciales. Además del sistema de alerta temprana, el trabajo que lleva adelante el IDEAM referido a la gobernanza de datos también ha permitido poner en marcha un sistema nacional de monitoreo de la deforestación en Colombia al que se puede acceder por internet.¹⁰⁴

Una gobernanza de datos eficaz requiere mecanismos institucionales bien diseñados que permitan la aplicación coordinada de los requisitos legales y técnicos en múltiples países y con distintos actores. Dada la naturaleza del bioma amazónico y la diversidad de los tipos de datos relevantes para el cambio climático, las instituciones recaban datos relacionados con la adaptación y la mitigación del cambio climático con diferentes fines. Para recopilarlos y procesarlos eficazmente, deben desarrollar aún más las competencias que les permitan crear e implementar tecnologías digitales. Un enfoque coordinado para la recopilación y el intercambio de datos no implica necesariamente que haya un solo organismo o institución que recoja conjuntos de datos específicos. Puede ser útil que múltiples partes interesadas recaben los datos de manera coordinada (por ejemplo, en cuanto a la metodología) para garantizar una redundancia suficiente que respalde la sostenibilidad de la recopilación y el procesamiento de los datos. Esto es especialmente importante en el caso de los datos que pueden considerarse políticamente sensibles y que tal vez estén sujetos a restricciones financieras o políticas. Además, es posible que algunos se consideren parte de la infraestructura crítica o deban recopilarse a nivel nacional, como los datos meteorológicos, según las normas de la Organización Meteorológica Mundial.

Una institución regional puede respaldar la gestión coordinada de los datos para la agenda climática de la región, lo que incluye acordar normas, políticas y enfoques en torno al uso de los datos. Como se señaló, estas actividades están a cargo de una amplia gama de instituciones, que varían según el país

Gráfico 3.4: Beneficios de la coordinación institucional



Fuente: Los autores.

y el sector, lo que da lugar a la superposición de funciones y a enfoques fragmentados. Por ejemplo, los institutos meteorológicos e hidrológicos nacionales, como el INMET y la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico de Brasil, el IDEAM de Colombia, el SENAMHI de Perú, el SENAMHI de Bolivia y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador, recopilan y difunden variables climáticas críticas, pero no están coordinados entre sí. Asimismo, el Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales y la Defensa Civil de Brasil, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia y el Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú generan y utilizan datos para emitir alertas y responder a eventos relacionados con el clima. Sin embargo, a menudo operan en ecosistemas fragmentados, sin coordinación en la generación de alertas y la respuesta ante desastres.

Un ejemplo de institución regional que está intentando abordar esta fragmentación es la OTCA. Esta organización se encuentra en una posición privilegiada para actuar como coordinadora de la gobernanza de datos relacionados con el clima en la región amazónica. Fue establecida en 1978 por ocho países amazónicos (Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) y tiene el mandato de promover el desarrollo de la cuenca del Amazonas mediante la cooperación. Es la única organización intergubernamental que abarca a todas las naciones amazónicas. En los últimos años, se reconoce cada vez más que la OTCA podría ser la plataforma ideal para abordar la fragmentación y la superposición facilitando el intercambio de datos, la estandarización y las estrategias conjuntas.

103 Tal como se establece en el Acuerdo de París, incluso con las recientes opiniones consultivas de la Corte Internacional de Justicia y la Comisión Interamericana de Derechos Humanos, en las que se destaca la responsabilidad de los Estados de recopilar datos relacionados con el clima.
104 Sensors & Systems (2012).

Una de las razones por las que podría ser la opción ideal es que su estructura fue diseñada desde el inicio para la coordinación, con una secretaría permanente en Brasilia, pero también con comisiones nacionales permanentes en cada país. En virtud del tratado, la comisión de cada país debe velar por el cumplimiento de sus disposiciones, incluida la cooperación en la investigación y el intercambio de información. Este mecanismo podría utilizarse para mejorar la coordinación interinstitucional a nivel nacional en consonancia con los acuerdos regionales. Asimismo, la OTCA tiene experiencia en la gestión de proyectos regionales, como la base conjunta de datos hidrometeorológicos y los esfuerzos de cooperación climática llevados a cabo durante la década de 2000. Con la intensificación del cambio climático, los Estados miembros han reconocido la necesidad de establecer una nueva agenda de cooperación a través de la OTCA, como lo demuestra la Cumbre de Belém de 2023, en la que los participantes encomendaron a la entidad nuevas responsabilidades. La gobernanza de datos eficaz implica adoptar estrategias que permitan el intercambio de información entre las partes interesadas de toda la Amazonía, pero hay cuellos de botella. Como se ha señalado, los datos se encuentran en compartimentos estancos. Además, encontrar o combinar esta información requiere un costoso esfuerzo adicional. Para hacer frente a esta situación se necesitan cuidadosas intervenciones normativas orientadas a lograr el intercambio colaborativo, la aplicación adecuada del criterio de apertura desde el diseño¹⁰⁵ y la incorporación de salvaguardas apropiadas.

La unificación de los puntos de entrada para facilitar a los usuarios la consulta de indicadores y fuentes de datos abiertos puede mejorar la accesibilidad y el uso. Los datos sobre el cambio climático en la Amazonía están dispersos, y quizás se clasifiquen de manera diferente. Un marco posible consiste en categorizar los datos según el tipo de finalidad:

- i) datos que revelan cambios en la temperatura, las precipitaciones y otras variables meteorológicas;
- ii) datos sobre los impactos del cambio climático y la adaptación, y
- iii) datos relacionados con las medidas de mitigación.

Esta clasificación refleja la que aplica el IPCC. Si bien no es de carácter vinculante, podría proporcionar un marco para categorizar sistemáticamente fuentes de datos dispares bajo temas coherentes y alinearse con las prácticas internacionales, así como con documentos jurídicos e informes, incluso los que se presentan ante los principales fondos para el cambio climático.

Un portal que actuara como intermediario en un ecosistema federado de datos climáticos requeriría la designación de un administrador competente para facilitar su mantenimiento y sostenibilidad. Dada la cantidad de actores en el ecosistema y la necesidad de contar tanto con una función de custodia política como con una de implementación técnica, es probable que el modelo propuesto para la gobernanza de datos requiera un enfoque de múltiples partes interesadas. En este sentido, podría proponerse el trabajo coordinado entre la OTCA (para liderar el mandato político y la función de coordinación

intergubernamental) y el Panel Científico por la Amazonía, que lideraría el aspecto técnico. El Panel fue conformado bajo los auspicios de las Naciones Unidas y tiene experiencia en la coordinación y publicación de investigaciones encargadas por diversos Gobiernos. Además, ya cuenta con un número significativo de científicos que pueden seguir desarrollando buenas prácticas para el procesamiento, la depuración y el intercambio de estos datos. En términos más generales, sería recomendable que el administrador de datos sobre cambio climático tuviera experiencia previa en coordinación y la capacidad de generar consenso científico. Para ampliar esta propuesta con éxito en la práctica, será importante que los administradores sigan colaborando de manera significativa con las redes existentes de investigadores y con quienes contribuyen a los esfuerzos de recopilación y procesamiento de datos, incluidos los investigadores, las empresas, los estudiantes, y los pueblos indígenas y comunidades locales, cuya inclusión será necesaria para garantizar el tratamiento adecuado de los conocimientos indígenas. Algunos de estos grupos pueden formalizarse mediante la conformación de comités estructurados, grupos de trabajo u otras formas de alianzas. Otras redes existentes que podrían aprovecharse incluyen la Red de Centros de Investigación de la Amazonía, que actualmente es una iniciativa complementaria del ORA de la OTCA.¹⁰⁶

Los talleres sobre protección territorial congregan a los pueblos indígenas en el Centro de Formación de los Pueblos del Bosque



Fotografía: Ila Verus (CPI-Acre).

¹⁰⁵ Con el auge de la IA, la decisión de que los datos sean abiertos desde el diseño y por defecto tiene consecuencias, ya que los datos abiertos pueden utilizarse para entrenar modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM). Pueden surgir cuestiones normativas más amplias sobre cómo equilibrar la apertura y la protección de los derechos de propiedad intelectual, especialmente en el caso de los datos generados o recopilados por el sector privado. Para la región es fundamental un debate coordinado sobre qué debe hacerse "abierto" y qué debe divulgarse con condiciones de acceso; dicho debate podría facilitarse a través de la OTCA y otras entidades.

¹⁰⁶ Ruffino (2024).

Recomendaciones clave para abordar la gobernanza de datos en la Amazonía

Como se ha analizado, para que las tecnologías digitales de conservación logren sus objetivos, se debe dar prioridad a la gobernanza de datos. Más importante aún, se necesita gobernanza para garantizar que los pueblos indígenas y las comunidades locales, a los que estas tecnologías pretenden beneficiar, puedan desempeñar un papel

activo en el desarrollo y la aplicación de los procesos de gobernanza. En este contexto, se presentan a continuación las recomendaciones que deberían tenerse en cuenta:



RECOMENDACIONES	DETALLES/BENEFICIOS/SALVEDADES	PARTES INTERESADAS PRINCIPALES	ACTORES ADICIONALES
Mejorar el acceso a los datos climáticos y su calidad. Para posibilitar un uso eficaz de los datos relacionados con el clima, es necesario mejorar tanto el acceso a ellos como su calidad. El logro de estos objetivos requiere una combinación de reformas legales, técnicas, semánticas y organizacionales, junto con el fortalecimiento de la capacidad y la gestión del cambio para respaldar la implementación.	Esto puede propiciarse mediante la estandarización de los protocolos y normas de procesamiento e intercambio de datos, el desarrollo de plataformas colaborativas para facilitar el acceso a los datos y la integración de las fuentes de datos públicas para subsanar las deficiencias. Los marcos jurídicos como la Ley de Acceso a la Información de Brasil, la Ley de Transparencia de Perú y la Política Nacional de Datos Abiertos de Ecuador establecen mandatos claros para la divulgación proactiva de conjuntos de datos ambientales y climáticos. Los marcos de interoperabilidad, incluido el modelo de cuatro niveles de Perú y las disposiciones de Brasil sobre difusión de datos, ofrecen enfoques estructurados para armonizar el intercambio entre organismos, permitiendo una integración más rápida de los conjuntos de datos para el monitoreo de la deforestación, la biodiversidad y los riesgos de desastres y sus impactos.	- Ministerios de medio ambiente, clima, silvicultura y agua - Servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales - Organismos nacionales de estadística e información geoespacial - Unidades de gobierno digital y de gobernanza de datos - Organismos públicos que gestionan portales nacionales de datos ambientales o climáticos	- OTCA - Redes científicas - Universidades y centros de investigación - Grupos de la sociedad civil dedicados a la transparencia y el monitoreo ambiental - Sector privado
Promover las asociaciones entre múltiples partes interesadas para la gobernanza de datos. La participación de las instituciones académicas y el sector privado en el diseño y la implementación de políticas y estándares de gobernanza de datos puede mejorar su calidad y apoyar la conformación de APP para obtener datos más diversos y soluciones más innovadoras que permitan hacer frente al cambio climático.	Los enfoques colaborativos han respaldado medidas como la integración del monitoreo ambiental con bases de datos de respuesta a emergencias en Colombia, lo que demuestra cómo los conocimientos especializados compartidos pueden traducir las normas técnicas en plataformas operativas para el mapeo de riesgos y la alerta temprana. Para que estas plataformas sean eficaces, es igualmente importante que los usuarios gubernamentales pertinentes y otras partes interesadas tengan la capacidad de interpretar los datos que se proporcionan y responder a ellos.	- Ministerios de medio ambiente y clima - Ministerios de ciencia, tecnología y transformación digital - Organismos nacionales de medio ambiente y meteorología - Universidades e institutos de investigación dedicados a la ciencia del clima	- Sector privado - Organizaciones de la sociedad civil dedicadas al monitoreo y la promoción - Organizaciones internacionales y socios para el desarrollo que apoyen programas sobre clima y datos
Diseñar los marcos de gobernanza de datos conjuntamente con los pueblos indígenas y las comunidades locales. Se debe verificar que cuenten con las capacidades necesarias para participar en los procesos de recopilación de datos. La integración de los conocimientos indígenas en los procesos de monitoreo y validación puede incrementar la precisión de los datos relacionados con el clima y conferirles mayor legitimidad.	Los marcos de gobernanza de datos deben estar alineados con las normas indígenas, proporcionar mecanismos para el consentimiento y la distribución de los beneficios, y priorizar una administración ética coherente con los valores y enfoques de la comunidad. La Ley de Protección de los Conocimientos Colectivos de Perú y las disposiciones constitucionales de Ecuador sobre consentimiento refuerzan el requisito de obtener el consentimiento libre, previo e informado, mientras que las prácticas inclusivas, como los avisos multilingües sobre los datos en Ecuador y las exigencias de Perú referidas a la difusión por medios que no requieran conexión a internet, garantizan un acceso equitativo.	- Organizaciones indígenas representativas - Grupos de comunidades indígenas y locales a nivel nacional y regional - Ministerios u organismos encargados de los asuntos indígenas, la inclusión social y los derechos humanos - Ministerios de medio ambiente, clima y silvicultura que operen en territorios indígenas	- OSC - Instituciones académicas y poseedores de conocimientos indígenas involucrados en la investigación participativa - BMD

RECOMENDACIONES	DETALLES/BENEFICIOS/SALVEDADES	PARTES INTERESADAS PRINCIPALES	ACTORES ADICIONALES
Fortalecer la integración y la custodia regional de los datos. Se deben apoyar los esfuerzos regionales de integración de datos para reducir la duplicación (pero permitiendo la redundancia necesaria para una recopilación sostenible y para los esfuerzos de verificación/calibración), mejorar el acceso a datos climáticos coordinados y fiables, y ampliar el acceso de una gama más amplia de partes interesadas a los datos. Mediano a largo plazo	Para esto, es preciso evaluar cuidadosamente qué instituciones regionales reúnen las características necesarias para ser custodios eficaces de los repositorios y las plataformas regionales de datos, lo que implica garantizar flujos de financiamiento sostenibles y contar con capacidad técnica suficiente y liderazgo para desempeñar esta función. Las iniciativas nacionales ofrecen modelos pertinentes para orientar el desarrollo de plataformas regionales, como los comités sectoriales de Brasil vinculados al Fondo Amazonía y su marco de gobernanza de datos de libre acceso. La ampliación de los portales de datos abiertos en Colombia y Ecuador también podría contribuir a la agregación de datos sobre deforestación, calidad del agua y riesgo de desastres, lo que beneficiaría a una gama más amplia de partes interesadas.	- OTCA y ORA - Organismos ambientales, meteorológicos e hidrológicos nacionales - Ministerios de relaciones exteriores y organismos de integración regional	- Redes científicas - Unidades nacionales de datos abiertos y gobierno digital - OSC y coaliciones académicas que contribuyan a la validación y el control de calidad
Fortalecer el papel de la OTCA en la gobernanza regional de datos climáticos. La OTCA se encuentra en una posición privilegiada para coordinar la gobernanza de datos climáticos en la Amazonía, pues reúne a ocho países bajo un único marco intergubernamental. Su estructura —con una secretaría y comisiones nacionales permanentes— facilita la cooperación regional y el intercambio de información. Mediano plazo	La experiencia de la OTCA en la gestión de proyectos conjuntos y la ampliación de su mandato a partir de la Cumbre de Belém de 2023 ponen de relieve su capacidad para abordar la fragmentación de los datos. Una gobernanza eficaz requerirá un intercambio colaborativo, estandarización y salvaguardas sólidas. El fortalecimiento de la función de la OTCA puede ayudar a superar los compartimentos estancos institucionales y avanzar en la gestión integrada de los datos climáticos en toda la región.	- Secretaría de la OTCA - Comisiones nacionales permanentes de los Estados miembros de la OTCA - Ministerios de medio ambiente, clima y relaciones exteriores	- ORA - Panel Científico por la Amazonía - Organismos nacionales que recopilan datos climáticos - BMD

Capacitación de la población indígena en Acre mediante tecnologías digitales



Fotografías: Isla Verus (CPI-Acre).



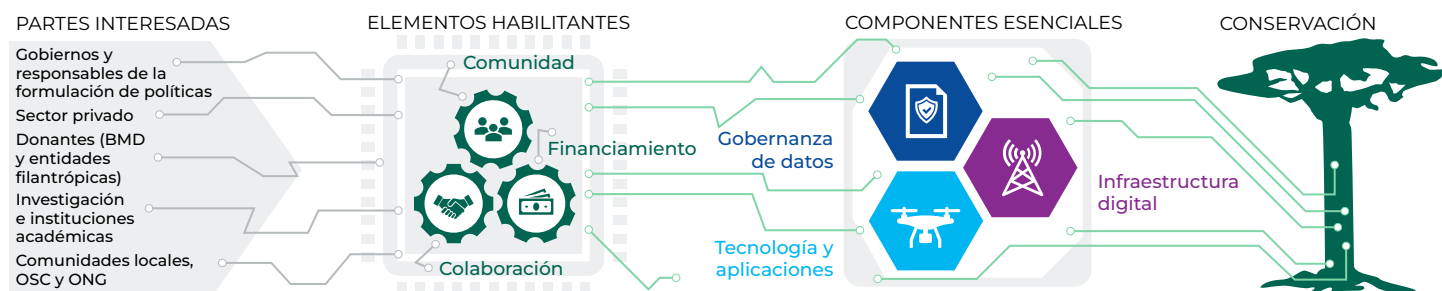
CAPÍTULO 4

Conclusiones y recomendaciones

Las tecnologías digitales tienen un gran potencial para contribuir a la conservación y gestión de la Amazonía. Los rápidos avances de las últimas décadas, junto con una mayor conectividad, ya han transformado el monitoreo ambiental al permitir la integración casi en tiempo real de datos, propiciar ideas innovadoras y nuevas instalaciones, lo que posibilita una detección más rápida de las amenazas y respuestas más efectivas. Sin embargo, el desarrollo de una solución tecnológica no es suficiente para garantizar que pueda ampliarse y resulte sostenible. Para que esto ocurra, es necesario hacer hincapié no solo en las tecnologías

propia de dichas, sino también en los elementos habilitantes que propician su adopción.

Este informe se centró en tres componentes esenciales para que las tecnologías digitales respalden una conservación sostenible y ampliable en la Amazonía. En este capítulo se ofrecen recomendaciones que van más allá de las soluciones rápidas y brindan información sobre cómo priorizar la participación de las partes interesadas a fin de generar aceptación y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estas soluciones.



Componente esencial n.º 1: Tecnología y aplicaciones



Conclusión: Las tecnologías y aplicaciones digitales pueden mejorar los sistemas de monitoreo, orientar las decisiones de inversión y respaldar los objetivos de conservación a largo plazo.

Recomendaciones principales :

- Es esencial involucrar a los pueblos indígenas y las comunidades locales en el diseño y la implementación de tecnologías digitales para la conservación.
- La fabricación y el mantenimiento locales de los dispositivos digitales reducen la dependencia respecto de las importaciones, disminuyen los costos y permiten desarrollar conocimientos especializados a nivel regional.
- La inversión en investigación e innovación, en particular a través de la colaboración académica, permite desarrollar herramientas y tecnologías para el monitoreo ambiental, y equilibrar cuidadosamente a la vez las cuestiones de costos.
- Para poder utilizar las herramientas digitales de conservación es esencial ampliar la cobertura de internet y la infraestructura informática regional, y garantizar al mismo tiempo el cumplimiento normativo y un impacto ambiental mínimo.

Componente esencial n.º 2: Infraestructura digital



Conclusión: El 85 % de la población que vive en la Amazonía tiene acceso a internet, pero solo el 3,5 % de la región tiene cobertura de conectividad móvil o fija. La brecha es aún mayor en los territorios indígenas. Para aprovechar el potencial

de las tecnologías digitales para la conservación es fundamental llegar con internet a las zonas remotas, de modo de hacer uso de todas las tecnologías de transmisión de datos disponibles. Sin embargo, para llevar internet a las poblaciones sin conexión es necesario contar con salvaguardas adecuadas

que minimicen los riesgos y garanticen una experiencia socioeconómica positiva en internet.

Recomendaciones principales :

- Para solventar la infraestructura de conectividad digital de la Amazonía, es clave aplicar un enfoque de financiamiento combinado que integre presupuestos públicos, fondos de bancos de desarrollo, APP y mecanismos innovadores como los créditos de carbono.
- Con la integración de las iniciativas nacionales de conectividad existentes en Brasil, Perú y Colombia se puede crear un corredor óptico amazónico unificado que permita el intercambio de datos entre países y una infraestructura digital regional resiliente.
- Una combinación de tecnologías permitirá disponer de soluciones de conectividad de bajo costo y energéticamente eficientes para acelerar la cobertura de internet y respaldar el monitoreo ambiental en tiempo real en toda la Amazonía.
- Si se empodera a las redes comunitarias, a los pequeños proveedores de servicios de internet y a las poblaciones locales desarrollando sus capacidades y brindándoles protagonismo, se reducirán los costos de mantenimiento y garantizará una conectividad sostenible en la última milla en los territorios amazónicos remotos.
- Es esencial proporcionar una amplia capacitación en habilidades digitales a todas las poblaciones, incluidas las comunidades indígenas y los jóvenes, de modo que puedan utilizar internet de forma segura y la comunidad local pueda ocuparse del mantenimiento y la operación de la infraestructura de telecomunicaciones.
- Para que las estrategias de conectividad sean eficaces, deben adaptarse a los contextos económicos, políticos y sociales locales, estar impulsadas por la comunidad y diseñarse con las máximas salvaguardas ambientales para el bioma amazónico.

Componente esencial n.º 3: Gobernanza de datos



Conclusión: Los datos proporcionados por las tecnologías digitales pueden señalar dónde es necesario intensificar los esfuerzos de conservación y dónde se están obteniendo resultados positivos. Sin embargo, sin marcos de gobernanza sólidos, se corre el riesgo de perder ese valor por completo.

Recomendaciones principales :

- Para mejorar el acceso a los datos climáticos y su calidad, se necesitan protocolos estandarizados, marcos de interoperabilidad, plataformas colaborativas y reformas legales de apoyo que propicien el monitoreo ambiental eficaz en toda la Amazonía.
- Las asociaciones de múltiples partes interesadas fortalecen los marcos de gobernanza de datos y traducen los conocimientos especializados compartidos en plataformas

prácticas de monitoreo climático y alerta temprana.

- Los marcos de gobernanza de datos deben diseñarse en conjunto con los pueblos indígenas y las comunidades locales, incorporando el consentimiento, la distribución de beneficios y los conocimientos indígenas para garantizar prácticas éticas, legítimas y equitativas en el manejo de los datos climáticos.
- La OTCA se encuentra en una posición única para liderar la gobernanza regional de los datos climáticos, aprovechando su estructura intergubernamental para superar la fragmentación y avanzar en la integración de los datos.
- Para fortalecer la integración regional de los datos, es necesario identificar instituciones de custodia que dispongan de la capacidad requerida, garantizar un financiamiento sostenible y expandir las plataformas de datos abiertos a fin de reducir la duplicación y ampliar el acceso a datos climáticos confiables.

El papel de los elementos habilitantes como sostén de los componentes esenciales

Si bien es fundamental comprender los componentes esenciales que garantizan el impacto sostenible de las tecnologías digitales de conservación, estos componentes por sí solos no bastan para garantizar la adopción y el uso generalizados de dichas tecnologías. Debe priorizarse la participación de las comunidades a las que se espera beneficiar con los resultados de estas soluciones desde el inicio de su diseño. Por otra parte, la planificación del uso



Promover la participación de la comunidad: Alinear el desarrollo de las tecnologías digitales con las prioridades de la comunidad, partiendo de una comprensión clara de sus necesidades para garantizar que las innovaciones respalden eficazmente los esfuerzos de conservación locales. Esto incluye, entre otras cosas:

- **Priorizar soluciones contextualizadas:** Las tecnologías digitales de conservación deben estar orientadas por las comunidades locales, y vincularse a la vez con un objetivo más amplio. En el diseño y la implementación de soluciones se deben contemplar las limitaciones económicas, políticas y sociales particulares de la región.
- **Crear conciencia en la comunidad sobre las oportunidades de conservación y sus beneficios:** Es fundamental generar conciencia en la comunidad acerca de las oportunidades de conservación y lograr su aceptación para garantizar que se adopten tecnologías de conservación a largo plazo. Esto requiere trabajar para que se comprendan los impactos de la degradación ambiental tanto a corto como a largo plazo, al tiempo que se demuestra cómo las intervenciones de conservación pueden contribuir al bienestar socioeconómico de las comunidades a largo plazo.
- **Promover la capacitación en competencias digitales y el fortalecimiento de las capacidades a largo plazo:** Las barreras relacionadas con el acceso a dispositivos digitales, el mantenimiento de redes y el uso de tecnologías —junto con factores socioculturales preexistentes— pueden limitar de manera significativa la capacidad de las personas para utilizar tecnologías digitales de conservación. La capacitación en competencias digitales orientada a promover la alfabetización digital puede aumentar la participación comunitaria y, al mismo tiempo, contribuir a paliar la escasez de personal calificado con conocimientos especializados en tecnologías digitales.



Obtener financiamiento: El financiamiento es un obstáculo crítico tanto a corto como a largo plazo, que restringe significativamente la eficacia de las tecnologías digitales de conservación. Esto no se limita al financiamiento de las soluciones propiamente dichas, sino que también abarca las inversiones a largo plazo dirigidas a desarrollar infraestructura, el diseño de políticas, la implementación y la innovación. No hay una única entidad de financiamiento que deba considerarse para esta tarea: se necesita la participación de actores de todos los ámbitos.



Conformar alianzas y buscar la colaboración multisectorial: La complejidad de la adaptación al cambio climático exige un enfoque interdisciplinario. En este informe se ha destacado la importancia de los actores de los sectores público, privado y social en la promoción del uso de las tecnologías digitales de conservación. Para facilitar este uso, es necesario tender puentes entre disciplinas y fomentar la colaboración y coordinación entre las partes interesadas de distintos sectores y países. La coordinación también es esencial para que los marcos de gobernanza de datos resulten adecuados para los fines previstos y se diseñen en consulta y colaboración con instituciones de todos los sectores. La reducción de la fragmentación institucional mediante la ampliación de la colaboración a través de plataformas como el ORA de la OTCA, la RAISG, SERVIR-Amazonía y MapBiomas mejorará el intercambio de datos, el uso compartido de recursos y la capacidad de monitoreo regional. El fortalecimiento de las alianzas entre los países amazónicos, las instituciones de investigación y los organismos internacionales mejorará la coordinación y atraerá financiamiento.

Recomendaciones para promover los elementos habilitantes de los componentes esenciales, por grupos de partes interesadas

La promoción de estos componentes requiere el apoyo de diversas partes interesadas, entre las que figuran las comunidades locales, los investigadores o instituciones académicas, el sector privado, el sector público y los donantes. La participación debe ir más allá de la toma

de conciencia; el apoyo depende de que cada grupo de partes interesadas comprenda el valor que estas soluciones representan para ellas. A continuación se exponen algunas sugerencias.

GOBIERNOS Y RESPONSABLES DE LA FORMULACIÓN DE POLÍTICAS

Participación de las comunidades	Financiamiento	Alianzas y colaboración multisectorial
• Crear conjuntamente una estrategia integral y a largo plazo de conservación digital en la que se reconozcan tanto las necesidades locales como las regionales. • Asegurarse de que los pueblos indígenas y las comunidades locales conserven la propiedad de los datos recopilados para que puedan influir mejor en las políticas, promover modelos de gobernanza dirigidos por la comunidad y salvaguardar los derechos territoriales. • Diseñar políticas de infraestructura que amplíen la cobertura de internet en zonas remotas, asegurándose al mismo tiempo de que respalden las aspiraciones de conservación de las comunidades amazónicas. • Implementar tecnologías digitales de conservación priorizando la incorporación de datos relevantes para las comunidades locales. En la implementación también se debe promover la adopción y el uso en las comunidades locales que interactuarán directamente con estas tecnologías y se beneficiarán de ellas. • Diseñar en conjunto y aplicar políticas que respalden el desarrollo de marcos de gobernanza de datos en los que se priorice la protección de los datos y, al mismo tiempo, se apoye su uso integrado para facilitar la conservación regional.	• Priorizar el financiamiento de la infraestructura básica necesaria para las tecnologías digitales de conservación en toda la Amazonía. Esto incluye inversiones en conectividad de banda ancha, acceso a la energía e infraestructura de datos. • Asignar recursos presupuestarios y buscar cofinanciamiento mediante alianzas regionales, aprovechando los fondos de servicio universal para apoyar iniciativas específicas de conectividad e incorporando la participación de miles de pequeños y medianos proveedores de internet para la prestación de servicios en la última milla. • Proporcionar donaciones catalizadoras y financiamiento en condiciones concesionarias para reducir el riesgo de la inversión privada, alineando al mismo tiempo los presupuestos nacionales y locales con las prioridades ambientales a fin de sostener los compromisos a largo plazo. • Elaborar políticas públicas centradas en la reducción de los aranceles de importación de dispositivos digitales y promover la capacidad local de fabricación y mantenimiento. Al hacer más asequibles y accesibles los dispositivos, se puede expandir la adopción de tecnologías digitales entre los hogares de bajos ingresos.	• Desempeñar un papel fundamental en la coordinación de la multiplicidad de actores que trabajan en la Amazonía para incrementar los beneficios y la rendición de cuentas.

COMUNIDADES LOCALES, OSC Y ONG

Participación de las comunidades	Financiamiento	Alianzas y colaboración multisectorial
• Apoyar a las comunidades locales y ayudarlas a abogar por soluciones que respondan a sus realidades cotidianas y sus prioridades de desarrollo. • Diseñar conjuntamente actividades de capacitación sobre el uso de soluciones digitales de conservación con énfasis en la alfabetización digital, y brindar apoyo para la implementación de estas soluciones a nivel comunitario. • Establecer en los mecanismos de rendición de cuentas disposiciones que garanticen que las soluciones externas persigan los objetivos para los que fueron diseñadas.	• Fomentar el uso de mecanismos tales como los fondos comunitarios y las iniciativas de financiamiento colectivo.	• Actuar como parte convocante, alineando a las diversas entidades de financiamiento y asociados en torno a objetivos de conservación compartidos y generando confianza entre las partes interesadas. • Dotar a los pequeños operadores y a la población local (p. ej., infraestructura de conectividad de propiedad indígena) de los conocimientos necesarios para acelerar el mantenimiento de las tecnologías de conservación y reducir su costo, promoviendo al mismo tiempo el nivel de identificación local con la infraestructura.

SECTOR PRIVADO

Participación de las comunidades	Financiamiento	Alianzas y colaboración multisectorial
• Invertir en tecnologías de conservación sin perjudicar a la región amazónica, su población ni sus recursos naturales.	• Proporcionar capital para acelerar la adopción de tecnologías digitales para la conservación. Esto abarca inversiones de impacto; fondos de riesgo; programas de responsabilidad social corporativa; inversiones que tienen en cuenta los aspectos ambientales, sociales y de gobernanza; APP, y enfoques relacionados.	• Trabajar en estrecha colaboración con las partes interesadas del sector público y social (incluidas las comunidades) y las instituciones académicas o de investigación para garantizar que las soluciones resulten pertinentes para los contextos en los que se aplican.

INSTITUCIONES ACADÉMICAS Y DE INVESTIGACIÓN

Participación de las comunidades	Financiamiento	Alianzas y colaboración multisectorial
• Integrar las tecnologías de vanguardia y los conocimientos derivados de las investigaciones con los sistemas de saberes tradicionales como parte de las soluciones de conservación. Esto garantizará que los avances tecnológicos complementen, en lugar de reemplazar, los conocimientos locales, incrementando tanto la precisión como la inclusividad de las iniciativas de monitoreo en el bioma amazónico.	• Invertir en la investigación necesaria para desarrollar herramientas, tecnologías y estrategias que estén a la altura de los desafíos que representan el cambio climático y el monitoreo ambiental en la Amazonía, en constante evolución.	• Posicionarse como socios de confianza del sector público y privado para aprovechar los hallazgos científicos más recientes del área de la conservación.

DONANTES (BMD Y ENTIDADES FILANTRÓPICAS)

Participación de las comunidades	Financiamiento	Alianzas y colaboración multisectorial
• Destinar cada vez más fondos a las organizaciones comunitarias y las comunidades locales para respaldar su capacidad de llevar a cabo iniciativas de conservación. • Verificar que los intermediarios se asocien directamente con las organizaciones comunitarias como parte de sus esfuerzos de implementación.	• Las fundaciones pueden ayudar a subsanar déficits críticos de financiamiento que ni los Gobiernos ni los mercados están en condiciones de abordar, mientras que las ONG internacionales canalizan los recursos directamente a los pueblos indígenas y las comunidades locales para fortalecer la custodia de los ecosistemas. • Los bancos regionales de desarrollo y las instituciones multilaterales pueden desempeñar un papel importante en la canalización de fondos hacia proyectos digitales a gran escala que los Estados individuales no pueden financiar por sí solos.	• Desarrollar enfoques de financiamiento multidimensionales y flexibles.

De cara al futuro

A medida que el desarrollo y la implementación de las tecnologías digitales evolucionan, también se modifica el potencial de estas herramientas para apoyar a los pueblos indígenas, las comunidades locales y los Gobiernos en sus esfuerzos de conservación en todo el bioma amazónico. Las nuevas aplicaciones de IA, como los LLM y la IA con agentes, pueden contribuir a mejorar la recopilación y difusión de datos y a resolver las incongruencias existentes. Para aprovechar plenamente el potencial de estas tecnologías, se requerirá un mayor grado de integración regional. La infraestructura de datos necesaria para sacar provecho del valor de la IA puede ser prohibitivamente costosa, y es posible que los países no puedan asignarle recursos suficientes de manera individual. Las asociaciones multinacionales —idealmente con la participación del sector privado— pueden reducir de forma considerable los costos individuales de cada país y a la vez fomentar sinergias y mejorar los resultados generales. Paralelamente, será esencial establecer salvaguardias normativas y ambientales adecuadas para promover la adopción segura y responsable de las tecnologías avanzadas. Por último, es importante consolidar y preservar los sistemas y enfoques que ya resultan eficaces, en lugar de adoptar nuevas tecnologías de manera indiscriminada, ya que las soluciones más novedosas no son necesariamente las más efectivas.

Más allá de los resultados en el área de la conservación, el uso de las tecnologías digitales ofrece un considerable potencial socioeconómico para los habitantes de la Amazonía. El desarrollo, la implementación y el mantenimiento de

herramientas digitales de conservación pueden generar importantes oportunidades de empleo en la recopilación de datos, la gestión de sistemas, el monitoreo comunitario y el fortalecimiento de las capacidades locales, sectores en los que los pueblos indígenas y las comunidades locales pueden asumir un papel protagonista. Esto reviste especial relevancia dado que las poblaciones amazónicas presentan tasas de desempleo y pobreza considerablemente más altas que los promedios nacionales de los países de la región, lo que refleja décadas de escasa inversión y acceso limitado a los mercados laborales formales.

En resumen, el avance de las tecnologías digitales de conservación en la Amazonía —y más allá— depende de un entramado de priorización deliberada, financiamiento sostenido, colaboración multisectorial, marcos normativos sólidos y fortalecimiento de las capacidades locales. Si centramos la atención en las voces y las necesidades de los pueblos indígenas y las comunidades locales, fomentamos la gobernanza inclusiva, incorporamos el conocimiento tradicional y científico en el proceso de toma de decisiones e invertimos en soluciones ampliables y resilientes, podemos contribuir a garantizar que la innovación tecnológica beneficie genuinamente tanto a las personas como al planeta. El camino es complejo y requiere compromiso en muchos frentes, pero con una acción deliberada y un propósito compartido, la conservación digital puede convertirse en una piedra angular de la adaptación climática y la gestión sostenible en favor de las generaciones venideras.

Sede de CPI-Acre



Fotografía: Felipe Spina Avino.



APÉNDICE A

Partes interesadas entrevistadas

Esta es una lista de las 40 organizaciones a las que pertenecen las más de 100 personas consultadas para esta evaluación. Las consultas se realizaron entre abril de 2024 y mayo de 2025, tanto en línea como en persona.

PARTE INTERESADA	PAÍS	TIPO
Conservación Amazónica (ACEAA)	Bolivia	ONG
Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Amazonas (SEMA-AM)	Brasil	Gobierno
Secretaría de Estado de Medio Ambiente de Acre (SEMA-AC)	Brasil	Gobierno
Instituto de Investigación Ambiental de la Amazonía (IPAM)	Brasil	ONG
Policía Federal de Brasil	Brasil	Gobierno
Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático	Brasil	Gobierno
Instituto Nacional de Investigación Espacial (INPE)	Brasil	Gobierno
Red de Conexión de los Pueblos del Bosque (Rede Conexão Povos da Floresta)	Brasil	Otros
Fondo para la Estrategia de Conservación (CSF)	Brasil	ONG
Coordinadora de las Organizaciones Indígenas de la Amazonía Brasileña (COAIB)	Brasil	Pueblos indígenas y comunidades locales
Instituto de Gestión y Certificación Forestal y Agrícola (Imaflora)	Brasil	ONG
Asociación de Defensa Etnoambiental Kanindé (Kanindé)	Brasil	ONG; pueblos indígenas y comunidades locales
Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Sostenibilidad de Pará (SEMAS-Pará)	Brasil	Gobierno
Comisión Proindígenas de Acre (CPI-Acre)	Brasil	Pueblos indígenas y comunidades locales
Secretaría de Estado de Desarrollo Ambiental de Rondônia (Sedam)	Brasil	Gobierno
Instituto Socioambiental (ISA)	Brasil	ONG
Fondo Mundial para la Naturaleza, Brasil (WWF-Brasil)	Brasil	ONG
Fundación Etnollano	Colombia	ONG
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Colombia	Gobierno
Fundación Gaia Amazonas (GAF)	Colombia	ONG; pueblos indígenas y comunidades locales
Instituto Humboldt	Colombia	Gobierno; instituciones académicas
Fundación EcoCiencia	Ecuador	ONG
Fundación para la Conservación de los Andes Tropicales (FCAT)	Ecuador	ONG
Conservación Amazónica (ACCA)	Perú	ONG
Instituto Geofísico del Perú (IGP)	Perú	Gobierno
Asociación Interétnica de Desarrollo de la Selva Peruana (AIDSESP)	Perú	Pueblos indígenas y comunidades locales
Servicio Nacional Meteorológico e Hidrológico del Perú SENAMHI	Perú	Gobierno
Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR)	Perú	Gobierno
Ministerio del Ambiente del Perú (Plataforma GeoBosques)	Perú	ONG
Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP)	Perú	Gobierno
Equipo de Conservación del Amazonas (ACT)	Regional	ONG
Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA)	Regional	Otros
Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG)	Regional	Pueblos indígenas y comunidades locales
Conservation X Labs	Regional	ONG; otros
EarthRanger	Regional	ONG
MapBiomas Brasil	Regional	Otros
Rainforest Foundation Noruega	Regional	ONG
Rainforest Foundation Reino Unido	Regional	ONG
SERVIR Amazonía	Regional	Instituciones académicas; otros
WildLabs	Regional	Otros

APÉNDICE B

Cuestionario orientativo utilizado para las consultas con las partes interesadas

Este instrumento se utilizó como parte de las entrevistas a informantes clave que sirvieron de base para las observaciones incluidas en este documento, especialmente en el [capítulo 2](#).

Nota de los autores: Esperamos que este instrumento sea de interés para quienes deseen profundizar en el análisis o actualizar estas observaciones para su propio beneficio.

Tecnologías digitales para combatir el cambio climático en la Amazonía: Consulta a las principales partes interesadas

PARTE 1. PANORAMA GENERAL:

Nombre _____ Fecha _____

Organización _____

País _____

Función _____ Correo electrónico _____

Preguntas generales (comentarios/instrucciones)

1. Tipo de organización Seleccione de la lista:

- ☐ Organismo gubernamental de medio ambiente/áreas protegidas
- ☐ Organismo encargado de hacer cumplir la ley/las normativas ambientales
- ☐ Organización de pueblos indígenas y comunidades locales
- ☐ ONG dedicada a la conservación
- ☐ Institución académica/de investigación
- ☐ Sector privado
- ☐ Otras (especifique): _____

2. ¿Qué se está monitoreando? Marque todas las opciones que correspondan:

- ☐ Deforestación
- ☐ Conversión de tierras para usos agrícolas
- ☐ Incendios forestales
- ☐ Minería ilegal
- ☐ Sequías/inundaciones/calidad del agua
- ☐ Calidad del aire/contaminación atmosférica
- ☐ Biodiversidad
- ☐ Explotaciones ganaderas/ganadería ilegal
- ☐ Otros (especifique): _____

3. ¿Con qué tecnologías trabaja? Marque todas las opciones que correspondan:

- ☐ SIG/teledetección (imágenes satelitales, multispectrales y térmicas; LiDAR)
- ☐ Servicios web de SIG
- ☐ Sistemas de gestión de áreas protegidas (p. ej., SMART, EarthRanger)
- ☐ Vehículos aéreos no tripulados/drones
- ☐ Cámaras trampa
- ☐ Sensores acústicos
- ☐ Aplicaciones móviles
- ☐ *Biologgers*/dispositivos de rastreo
- ☐ ADN ambiental
- ☐ Otros sensores (sensor de agua/aire, IdC, comunicaciones sin conexión)
- ☐ Aprendizaje automático/visión por computadora
- ☐ Sistema global de navegación por satélite (GNSS, sistemas de posicionamiento)
- ☐ Tecnologías en la nube (para almacenamiento o computación)
- ☐ Otros _____ (especifique)

4. ¿Cómo calificaría el funcionamiento general de esta tecnología? Califique únicamente las tecnologías que utiliza, en una de las siguientes categorías.

MUY DEFICIENTE (MD), DEFICIENTE (D), ACEPTABLE (A), BUENO (B).

- _____ SIG/teledetección (imágenes satelitales, multispectrales y térmicas; LiDAR)
- _____ Sistemas de gestión de áreas protegidas (p. ej., SMART, EarthRanger)
- _____ Vehículos aéreos no tripulados/drones
- _____ Cámaras trampa
- _____ Sensores acústicos
- _____ Aplicaciones móviles
- _____ *Biologgers*/dispositivos de rastreo
- _____ ADN ambiental
- _____ Otros sensores (sensor de agua/aire, IdC, comunicaciones sin conexión)
- _____ Aprendizaje automático/visión por computadora
- _____ Tecnologías en la nube (para almacenamiento o computación)

5. ¿Dónde se utiliza la tecnología? ¿Cuál es la ubicación geográfica? Describa brevemente la ubicación de cada una de las tecnologías utilizadas:

6 Detalle los principales objetivos de la iniciativa. Describa brevemente:

7. ¿Esta iniciativa responde a una agenda de digitalización establecida?

Seleccione: ☐ Sí ☐ No ☐ No estoy seguro

8. ¿Usted está vinculado a alguna red regional de monitoreo u organización regional en la Amazonía?

Describa brevemente:

9. ¿Cuáles son las ventajas o los aspectos positivos que encuentra en esta tecnología? Describa brevemente las ventajas de una o más de las tecnologías que utiliza señaladas en la lista anterior:

10. ¿Cuáles son los principales obstáculos o problemas que ha encontrado en relación con el uso de la tecnología? Describa brevemente los obstáculos para una o más de las tecnologías que utiliza:

11. ¿Cuáles considera que son los resultados/impactos que ha logrado en su iniciativa que no hubieran sido posibles o que hubieran sido más difíciles de obtener sin la tecnología? Describa brevemente:

12 ¿Qué se necesitaría si quisiera aplicar esta tecnología en un área geográfica más amplia o en otros lugares de la Amazonía? Indique el número de prioridad para cada una de las opciones:

1 crucial, 2 alta, 3 media, 4 baja

- ☐ Mayor desarrollo tecnológico
- ☐ Disponibilidad/mejora de la infraestructura
- ☐ Fortalecimiento de las capacidades
- ☐ Inversiones financieras
- ☐ Apoyo del Gobierno
- ☐ Otros

13. En su opinión experta, ¿cuáles son las amenazas y los impactos concretos más significativos del cambio climático en el bosque tropical de la Amazonía, como incendios forestales, deforestación, sequías, pérdida de biodiversidad y otros? Describa brevemente:

14. En su opinión, ¿cuáles son las dos o tres tecnologías digitales que tienen más potencial y que deberían recibir más apoyo para ampliar la escala y la eficiencia del monitoreo en la Amazonía? Indique el nombre de las tecnologías más pertinentes:

15. ¿Cómo podemos monitorear el bosque tropical amazónico de manera efectiva (con las tecnologías que mencionó anteriormente)? Describa brevemente:

PARTE 2. DETALLES ADICIONALES:

Tipo de recopilación de datos:

- ☐ Recopilación remota (p. ej., satélite, colaboración masiva o teledetección)
- ☐ Encuesta de datos primarios
- ☐ Mediciones de datos de campo realizadas por personas (p. ej., puntos recopilados con GPS o teléfono celular por un guardaparques o la comunidad local).

¿Cómo se recopilan o registran los datos? ¿Quién contribuye a la recopilación de datos? Describa brevemente:

¿Es posible la recopilación participativa de datos mediante colaboradores externos? Describa brevemente:

Tipo y formato de los datos. Describa brevemente:

¿Se requiere conexión a internet para la recopilación de datos?

☐ Sí, se requiere internet ☐ No, puede hacerse sin conexión

¿Se requiere conexión a internet para la transmisión de datos?

☐ Sí, se requiere internet ☐ No, puede hacerse sin conexión

¿Hay conexión a internet confiable en el lugar?

☐ Sí, hay internet confiable ☐ No, no hay

¿Se necesita infraestructura adicional? Describa brevemente (por ejemplo, electricidad, sensores, teléfonos, computadoras, vehículos, etc.).

¿Quién recibe la información? ¿Para qué se utiliza la información? Describa brevemente:

¿Usted cuenta con una plataforma web para ver e intercambiar información? Describa brevemente:

¿Los datos son de acceso público? Describa brevemente:

¿Cuáles son los protocolos de propiedad e intercambio de datos y de acceso? Describa brevemente:

¿Qué medidas se aplican para proteger la seguridad de los datos? Describa brevemente (encriptado, contraseña, etc.).

¿Cuál es la complejidad del uso, las necesidades de capacitación y la disponibilidad de material de apoyo? Describa brevemente:

Otras consideraciones:

- ¿Cuál fue el costo inicial aproximado de la implementación?
- ¿Cuál es el costo anual aproximado de funcionamiento/operación?
- ¿Cuál es la estrategia de sostenibilidad financiera/longevidad?
- ¿Qué mecanismos financieros o estrategias de inversión se necesitan para financiar el desarrollo y la implementación de tecnologías digitales para la acción climática en la región amazónica?
- ¿Qué marcos regulatorios o normativos se necesitan para respaldar la integración e implementación de tecnologías digitales para la resiliencia climática en el ecosistema amazónico?
- ¿Cuáles son los posibles beneficios socioeconómicos y cobeneficios asociados con la adopción generalizada de tecnologías digitales para la resiliencia climática en la Amazonía, y cómo pueden maximizarse?

¿Tiene algún comentario o detalle adicional?

¿Tiene alguna sugerencia sobre otros actores clave a los que se debería consultar para esta iniciativa?

APÉNDICE C

Herramientas e iniciativas mencionadas en el informe

HERRAMIENTAS E INICIATIVAS	SITIO WEB
FireSat	https://sites.research.google/gr/wildfires/firesat/
PurpleAir	https://www2.purpleair.com/
DroneDeploy	https://www.dronedeploy.com/
Pix4D	https://www.pix4d.com/
CXs Sentinel	https://sentinel.conservationlabs.com/
AudioMoth	https://www.openacousticdevices.info/
Song Meter	https://www.wildlifeacoustics.com/
Brasil Mais	https://plataforma.redemaisbr.com.br/#/
MAAP	https://www.maaprogram.org/
PRODES	https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates
DETER	http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/Amazonia/deter/deter
Terra Brasilis	https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/en/home-page/
Global Forest Watch	https://www.globalforestwatch.org/
MapBiomas Alerta	https://alerta.mapbiomas.org/en/
OASIS	https://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-pronostico-sequias
SONICS	https://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones
Alerta Clima Indígena (ACI)	https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/aci-alerta-clima-indigena-informacao-na-palma-da-mao-para-as-terras-indigenas-da-Amazonia-brasileira/
Herramienta de Monitoreo Espacial y Notificación (SMART)	https://smartconservationtools.org/en-us/
eBioAtlas	https://ebioatlas.org/
Wildlife Insights	https://www.wildlifeinsights.org/
Arbimon	https://arbimon.org/
Brazil Data Cube	https://data.inpe.br/bdc/en/home-page-2/
Siradx	https://xingumais.org.br/categoria/Sirad X ENGLISH
Proyecto Guacamaya	https://news.microsoft.com/source/latam/features/ai/amazon-ai-rainforest-deforestation/?lang=en&msockid=0fc2b56d1df668081cae1a81c31699f
AdaptAcción	https://www.adaptaccion.org/
DHIME	http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/
EarthRanger	https://www.earthranger.com/
Plataforma Gundi	https://projectgundi.org/en-us/
Adapta Acción	https://www.adaptaccion.org/
CPTEC	https://www.cptec.inpe.br/
Red de Conexión de los Pueblos del Bosque	https://conexaopovosdafloresta.org.br/
BioModelos	https://biomodelos.humboldt.org.co/en
BioTablero	https://biotablero.humboldt.org.co/
PHISIS	https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=pronostico-hidrologico
SILVIA	https://www.senamhi.gob.pe/?p=silvia
IDSESP	https://idesepp.senamhi.gob.pe/portaledesepp/
SOMAI	https://soma.org.br/



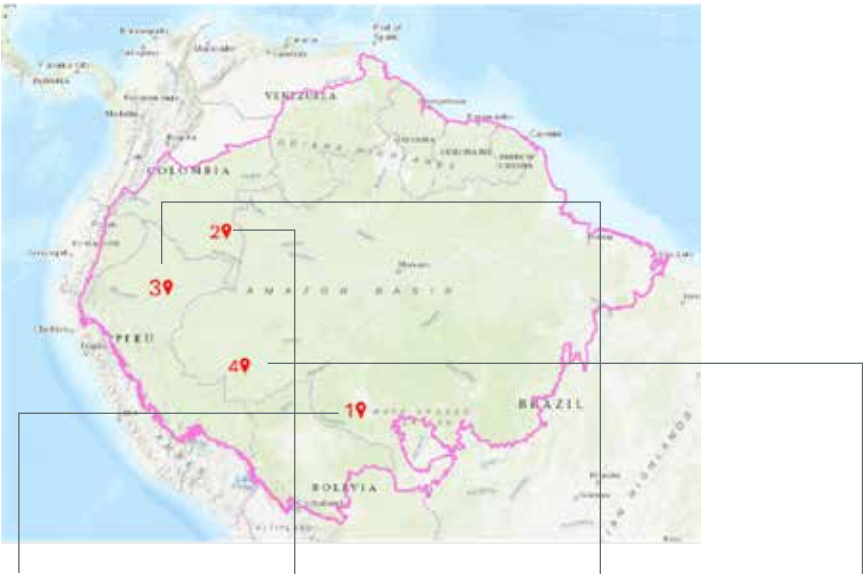
ESTUDIOS DE CASOS

La Amazonía desempeña un papel central en la regulación del carbono mundial y la conservación de la biodiversidad, pero está sujeta a presiones cada vez más intensas debido a la deforestación, las actividades ilegales y los crecientes impactos del cambio climático. En respuesta, se está utilizando una serie de tecnologías digitales —desde aplicaciones móviles hasta drones y sensores ambientales— para mejorar el monitoreo forestal, orientar las decisiones sobre la conservación y apoyar la gestión sostenible de los recursos. Estas tecnologías mejoran la capacidad de monitorear los ecosistemas incluso en regiones remotas, y ofrecen poderosas herramientas para fortalecer la protección de la biodiversidad y la resiliencia climática. Sin embargo, las dificultades tales como la fragmentación del financiamiento, la falta de infraestructura básica, la escasa evaluación de las soluciones y la adopción dispar de las tecnologías siguen restringiendo la concreción de beneficios más amplios.

Los estudios de casos que aquí se presentan fueron seleccionados por ser representativos de la geografía amazónica y de la multiplicidad de partes interesadas, y proporcionan información detallada sobre el papel de las tecnologías digitales en el monitoreo ambiental dentro del bioma amazónico. Sobre la base de amplias consultas con las partes interesadas y las observaciones presentadas en el

informe titulado *Promover la conservación de la Amazonía a través de las tecnologías digitales*, estos estudios ponen de relieve ejemplos prácticos de aplicaciones de la tecnología digital sobre el terreno. Para cada estudio de caso, presentamos un panorama general de los desafíos, las tecnologías digitales implementadas, las partes interesadas involucradas, las necesidades financieras y las consideraciones estratégicas para la implementación eficaz y la sostenibilidad. En conjunto, estas observaciones permiten comprender acabadamente las prácticas actuales y las vías estratégicas para ampliar la aplicación de las herramientas digitales de conservación en todo el bioma amazónico. En última instancia, los estudios de casos muestran que a fin de materializar el valor de las herramientas digitales para la conservación en la Amazonía se requiere algo más que tecnología; hace falta infraestructura resiliente, herramientas que tengan en cuenta el contexto y una sólida gobernanza de datos impulsada por la comunidad. El éxito depende de que el diseño sea inclusivo, de que se cuente con financiamiento sostenido y se logre el reconocimiento institucional de los saberes y datos locales. Si siguen estas vías, las partes interesadas pueden crear un ecosistema de monitoreo digital más eficaz, equitativo y resiliente para el futuro de la Amazonía.

Gráfico C.1: Mapa del bioma amazónico, donde los números indican las ubicaciones de los estudios de casos seleccionados



Estudio de caso 1

Uso de tecnologías para apoyar el monitoreo y la protección del territorio indígena

Rondônia (Brasil)

Estudio de caso 2

Integración de las tecnologías digitales para el monitoreo del clima y la biodiversidad

Colombia

Estudio de caso 3

Mejora del monitoreo meteorológico, agrometeorológico, climático e hidrológico mediante tecnologías digitales integradas

Perú

Estudio de caso 4

Tecnologías digitales que respaldan la gestión y el monitoreo territorial y ambiental indígena

Acre (Brasil)

ESTUDIO DE CASO 1

Uso de tecnologías para apoyar el monitoreo y la protección de los territorios indígenas

La información básica



El desafío



Los territorios indígenas abarcan el 13 % de la superficie de Brasil y contienen el 98 % de los bosques conservados que quedan en el país, lo que los convierte en elementos vitales para los esfuerzos por combatir el cambio climático y conservar la biodiversidad, tanto a nivel nacional como mundial.

Sin embargo, enfrentan amenazas crecientes debido a la aplicación deficiente de los derechos sobre la tierra y a las actividades ilegales, como la deforestación, la usurpación de tierras, la minería, los incendios forestales, la agricultura ilegal y la ganadería.

Las partes interesadas

SOCIEDAD CIVIL	SECTOR PRIVADO	SECTOR PÚBLICO
 - Asociación de Defensa Etnoambiental Kanindé (institución principal) - Organizaciones indígenas asociadas (cogestión): Jupaú, Metareilá, Waypã, Santo André - WWF-Brasil (apoyo técnico y financiero) - Red de Conexión de los Pueblos del Bosque - Organizaciones donantes: Fundación Gordon y Betty Moore, USAID, BMZ/BENGO	 - DroneDeploy: dronedeploy.org (tres años de acceso al <i>software</i> con soporte) - SOLVED: Soluciones de geoinformación (Codesarrollo de la plataforma SMDK)	 - Apoyo indirecto del Estado, cumplimiento, procesamiento y gestión - FUNAI - IBAMA - PrevFogo - Ministerio Público

Panorama general y logros principales

En este estudio de caso se pone de relieve un ejemplo notable de monitoreo ambiental dirigido por comunidades indígenas en el que se utilizan tecnologías digitales avanzadas para proteger los ecosistemas de todo el bioma amazónico. La iniciativa, lanzada en 2021 tras dos años de planificación, se aplica actualmente en 22 territorios indígenas de Rondônia (Brasil). Integra la teledetección satelital con la recopilación de datos sobre el terreno, impulsada íntegramente por asociaciones indígenas y sus colaboradores. La iniciativa se lleva adelante en regiones remotas con una infraestructura mínima de energía e internet, y en ella se utilizan soluciones sin conexión a la red, como paneles solares, internet satelital y radios digitales para garantizar un monitoreo eficaz. El conjunto de soluciones incluye un sólido kit de herramientas —drones, cámaras trampa, aplicaciones móviles como SMART y el SMDK de Kanindé— que permite la detección temprana de la

deforestación y las actividades ilegales. Desde el principio, las actividades del proyecto se planificaron de manera participativa e inclusiva, y se alentó a los pueblos indígenas a definir y elaborar los protocolos de monitoreo y las estrategias de salvaguardas para defender sus territorios.

Ambas herramientas han sido adaptadas y codesarrolladas específicamente para el uso de los pueblos indígenas. Por ejemplo, en la interfaz SMART se utilizan íconos desarrollados en colaboración con vigiladores indígenas para reducir la necesidad de disponer de competencias de lectura y escritura, y hacer las herramientas más accesibles a distintos grupos etarios, dado que algunos ancianos están menos familiarizados con el portugués. El SMDK integra información complementaria procedente de bases de datos de terceros —como multas ambientales y registros de propiedad rural— que las comunidades indígenas identificaron como importantes para respaldar la promoción y la aplicación de la política de conservación mediante acciones legales.

Estas herramientas desempeñan un papel clave en la generación de alertas en tiempo real sobre la degradación forestal. En la actualidad, el monitoreo de la biodiversidad sobre el terreno se realiza en cuatro territorios mediante drones portátiles, aplicaciones móviles y cámaras trampa sin conexión. Las imágenes de las cámaras trampa se clasifican automáticamente mediante Wildlife Insights, una plataforma gratuita impulsada por IA, lo que acelera el proceso y reduce la necesidad de conocimientos técnicos especializados. Las alertas generadas a partir de estos datos se priorizan según su gravedad, lo que permite a las comunidades enfocar sus esfuerzos de respuesta de manera eficaz. Por ejemplo, el SMDK combina datos satelitales ópticos y de radar de resolución media con aprendizaje automático a través de Google Earth Engine. A continuación, los analistas contrastan estas alertas con imágenes de alta resolución y, cuando es necesario, las verifican sobre el terreno.

Todo el sistema del SMDK está construido con datos satelitales de dominio público y herramientas de código abierto, lo que evita los costos de las licencias y garantiza una amplia accesibilidad. Los informes automatizados recopilan datos de múltiples herramientas y se transmiten a los líderes indígenas, quienes mantienen el control total sobre el acceso a los datos y su divulgación, incluso frente a las autoridades públicas. Un marco específico de gobernanza de datos garantiza la transparencia, la rendición de cuentas y el protagonismo local. Por otro lado, se creó capacidad a nivel local, y las asociaciones indígenas han desarrollado los medios necesarios para procesar y gestionar sus datos de campo de forma independiente y transmitir esta información para que la utilicen los equipos de promoción y comunicación.

Más allá de la vigilancia, la iniciativa tiene como objetivo frenar la usurpación de territorios, generar evidencias legales y fortalecer los derechos de los pueblos indígenas sobre las tierras, la gobernanza y la gestión ambiental. Las evidencias digitales recopiladas se utilizan para llevar adelante campañas mediáticas y de promoción que impulsan la aplicación de la ley, revierten las intrusiones ilegales y aumentan la visibilidad de los derechos de los pueblos indígenas en los diálogos mundiales sobre conservación. Además, pueden ser utilizadas por organismos públicos si así lo desean. Las alertas diarias, que incluyen imágenes georeferenciadas, videos e informes automatizados en los que se integran datos de múltiples fuentes, ya han dado lugar a operaciones conjuntas de aplicación de la ley con incautaciones de equipos y detenciones, lo que demuestra el poder del sistema para catalizar las respuestas oficiales.¹⁰⁷ La capacidad de vigilancia y la seguridad han mejorado notablemente, pues la tecnología ha reducido la exposición de las comunidades a los conflictos. Los vigiladores reciben capacitación en estrategias de patrullaje, procedimientos de

Paneles solares en el territorio indígena Uru-eu-wau-wau en Rondônia (Brasil)



Fotografía: Kanindé.

seguridad y derechos humanos, y muchos capacitan a su vez a otros actuando como facilitadores. Estos grupos adoptan diversas precauciones, como no ir nunca solos en un recorrido de inspección, informar y cumplir los planes de patrullaje, usar un dron para explorar el terreno y detectar peligros a distancia, y contar con dispositivos de comunicación. Por último, la contundente documentación visual, en especial las imágenes de drones, ha amplificado significativamente los esfuerzos de promoción a nivel internacional, incluidas las presentaciones en la 26.^a Conferencia de las Partes (COP26) de las Naciones Unidas y la cobertura en el aclamado documental titulado *The Territory*. Estos esfuerzos han contribuido a fortalecer los vínculos con instituciones públicas como la Fundación Nacional de los Pueblos Indígenas (FUNAI), el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA) y la Policía Ambiental.

Desafíos operativos y de implementación

Dado el vasto territorio y la complejidad logística, los costos operativos siguen siendo considerables. Incluyen gastos de validación y almacenamiento de datos, mantenimiento y reemplazo de equipos, estipendios continuos para la comunidad y capacitación periódica. Por ejemplo, el territorio Uru-eu-wau-wau es casi del tamaño de Gales y se considera uno de los territorios indígenas más importantes del estado de Rondônia, dada su rica biodiversidad y sus fuentes de agua dulce vitales. Sin embargo, también es un hervidero de delitos ambientales, especialmente deforestación. Para sostener la iniciativa se requiere financiamiento continuo, pero el apoyo financiero sigue siendo incierto. La elevada rotación de los vigiladores comunitarios y las constantes necesidades de capacitación también afectan la coherencia y la eficacia de los esfuerzos de verificación sobre el terreno.

¹⁰⁷ Órgãos Federais combatem crimes ambientais na Terra Indígena Uru-eu-wau-wau em Rondônia.

Apoyo operacional y costos

Actualmente, en la operación se utilizan alrededor de 5 drones (con un costo aproximado de USD 2000 cada uno) y 20 cámaras trampa estándar (alrededor de USD 400 por unidad). El desarrollo de la plataforma SMDK requirió una inversión de unos USD 40 000. Inicialmente se había obtenido financiamiento de diversas fuentes, entre ellas la Fundación Gordon y Betty Moore, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ)/BENGO¹⁰⁸, a través del WWF-Brasil, que también brinda apoyo técnico y financiero. Las alianzas clave con la Asociación de Defensa Etnoambiental Kanindé, el Centro de Trabajo Indigenista, Acre y el proyecto Red de Conexión de los Pueblos del Bosque han sido decisivas, en particular para garantizar la conectividad a internet en zonas remotas. Obtener financiamiento continuo para un apoyo sostenido sigue siendo un desafío permanente.

Recomendaciones

Los territorios indígenas actúan como barreras vitales contra la deforestación. Si se empodera a los pueblos indígenas y las comunidades locales con las tecnologías adecuadas, combinadas con sus conocimientos ancestrales, se puede mejorar significativamente su capacidad para monitorear y proteger sus tierras. Por ejemplo, para fortalecer aún más la capacidad local y promover la cooperación, es esencial alentar la capacitación entre pares y el intercambio técnico entre distintos grupos indígenas. Las herramientas digitales integradas mejoran la recopilación de datos, la seguridad y

la visibilidad. Los modelos eficaces de gobernanza de datos dirigidos por las comunidades también son esenciales para sostener estos esfuerzos. Existe un gran potencial para ampliar y replicar estas iniciativas en otros territorios indígenas, áreas protegidas y corredores ecológicos. Pero esto requiere adaptación a la dinámica social y cultural particular de cada grupo, apoyo continuo entre pares y esfuerzos coordinados para unificar las iniciativas existentes. El éxito de la expansión también depende de que las instituciones gubernamentales y los órganos de mando y control reconozcan formalmente el monitoreo indígena, lo que incluye validar los datos generados por las comunidades y una aplicación más eficaz de la ley. La sostenibilidad a largo plazo está supeditada a la disponibilidad de financiamiento continuo, apoyo institucional y herramientas fáciles de usar. Los mecanismos de financiamiento directo —gestionados por asociaciones indígenas e indigenistas, y respaldados por socios internacionales— son fundamentales para garantizar la autonomía y la resiliencia de estos sistemas de monitoreo. Para ampliar y sostener estos esfuerzos en toda la Amazonía y en otras regiones será fundamental establecer marcos de gobernanza claros y obtener respaldo gubernamental.

Más información:

- ASSOCIAÇÃO DE DEFESA ETNOAMBIENTAL KANINDÉ
- Artículo de CNN sobre cómo utiliza los drones Kanindé
- *The Territory*
- *Case Study #6, Embedding Human Rights in Nature Conservation: From Intent to Action, 2022*

Pueblos indígenas utilizan drones para monitorear sus territorios



Fotografía: Pi Surui (Kanindé).

¹⁰⁸ BENGO es un centro de asesoramiento especializado dentro de Engagement Global, encargado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania.

ESTUDIO DE CASO 2

Integración de las tecnologías digitales para el monitoreo del clima y la biodiversidad

La información básica



El desafío



La Amazonía colombiana está sujeta a una presión cada vez mayor derivada de la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los servicios ecosistémicos provocada por los cambios en el uso de la tierra y la variabilidad climática.

Estos fenómenos debilitan las funciones de los ecosistemas, como la regulación del agua y la fertilidad del suelo, al tiempo que reducen los hábitats de diversas especies, lo que afecta directamente los medios de subsistencia locales.

Las partes interesadas

SECTOR PÚBLICO	SOCIEDAD CIVIL	SECTOR PRIVADO
 • Instituto Humboldt (institución principal) • Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible • OTCA • Universidad Cornell • Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ)	 • Comunidades locales en la Amazonía • Redes de la sociedad civil	 • Microsoft • Universidad de los Andes

*Actual y proyectado para 2030.

Panorama general y logros principales

El Instituto Humboldt es una entidad colombiana vinculada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Trabaja con diferentes actores para recopilar datos sobre biodiversidad y promover políticas basadas en evidencias. Ha implementado un marco integral de monitoreo digital que integra la teledetección por satélite, tecnologías de sensores como cámaras trampa y dispositivos de monitoreo acústico, drones, tecnologías de ADN ambiental, modelos de aprendizaje automático y monitoreo comunitario para observar la biodiversidad y rastrear los impactos del cambio climático y la degradación de los ecosistemas en la Amazonía colombiana y otras partes del país.

El Instituto lleva a cabo actividades de monitoreo para evaluar los patrones de degradación de la vegetación y la biodiversidad y, de ese modo, fortalece el sistema de información ambiental del país. A través de proyectos específicos como la iniciativa Yaguara en Meta, Caquetá y Guaviare, el Instituto monitorea 51 parcelas de restauración ecológica (420 hectáreas) mediante tecnologías como Earthscanner e imágenes satelitales, junto con cámaras trampa en asociación con las comunidades indígenas locales. Estas tecnologías permiten evaluar la recuperación de la

vegetación y la biodiversidad, y orientan intervenciones de conservación específicas. Se utilizan imágenes satelitales multitemporales históricas e índices de vegetación para identificar patrones de transformación y priorizar las zonas degradadas. Los modelos digitales y los mapas de especies orientaron la planificación nacional, incluidos 8800 modelos de especies utilizados en escenarios futuros de conservación.

Un ejemplo de las actividades del Instituto es el proyecto Monitoreo Amazonía, a través del cual busca mejorar los sistemas de información ambiental del país, aplicar una estrategia de monitoreo de la biodiversidad con la comunidad local y establecer la Red de Monitoreo Comunitario de la Amazonía. Con sede en el distrito La Esperanza (5000 hectáreas), dentro del municipio de La Macarena, departamento de Meta, capacita a vigiladores de la biodiversidad en distintas técnicas de muestreo: cámaras trampa, bioacústica, conteo de aves, usos y beneficios, y prácticas y gobernanza de la biodiversidad. Además, tiene como objetivo conectar, visibilizar y mejorar la toma de decisiones de las comunidades locales, los grupos étnicos, las comunidades científicas y las instituciones interesadas en la implementación de esquemas de monitoreo dentro de sus territorios. En este contexto, el proyecto promueve sistemas de monitoreo de la biodiversidad de la Amazonía colombiana

que integran diversas escalas y múltiples partes interesadas y, en consecuencia, la interoperabilidad sectorial de los sistemas de información ambiental.

El Instituto Humboldt también utiliza una variedad de tecnologías y enfoques —como el aprendizaje automático, la tecnología en la nube, la ciencia de datos y otros— para acelerar la identificación de los patrones de deforestación, lo que permite tomar medidas con mayor rapidez en áreas en riesgo. Los datos resultantes de estas tecnologías se analizan mediante un *software* interno, en asociación con diversas universidades.¹⁰⁹ El Instituto también utiliza drones multispectrales y equipados con LiDAR para realizar diagnósticos de paisajes de alta resolución y evaluaciones ecológicas.

Un buen ejemplo de la colaboración del Instituto con múltiples partes interesadas es el Proyecto Guacamaya, un esfuerzo conjunto del Centro de Investigación y Formación en Inteligencia Artificial (Cinfonia) de la Universidad de los Andes, el Instituto SINCHI, el Instituto Humboldt, Planet Labs PBC y AI for Good Lab de Microsoft, en el que se utilizan modelos de IA de primer nivel para monitorear la deforestación y proteger la biodiversidad del ecosistema mediante una combinación de imágenes satelitales, cámaras trampa y bioacústica. Este tipo de enfoques garantiza el flujo continuo de datos de alta calidad, lo que facilita el monitoreo ambiental y mejora la toma de decisiones relacionadas con la gestión territorial, la conservación, la gobernanza y las prácticas sostenibles que emplean las comunidades locales, las autoridades y otras partes interesadas a nivel regional y nacional.

Apoyo operacional y costos

El Instituto Humboldt recibe financiamiento de fuentes públicas, privadas e internacionales. El financiamiento público proviene del Presupuesto General de la Nación, el Sistema General de Regalías (que incluye regalías para la ciencia), el Fondo Nacional Ambiental y el Fondo para la Vida y la Biodiversidad. Recibe recursos adicionales a través de asociaciones privadas y la cooperación internacional. El Instituto ha sido designado centro subregional de apoyo técnico-científico para América Latina y el Caribe en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, lo que le ha permitido acceder a un mayor volumen de fondos multilaterales para el medio ambiente. En 2024, gestionó un presupuesto total de COP 131 070 millones (aproximadamente USD 34 millones) para 77 proyectos, de los cuales 44 se iniciaron en 2024 y 33 en años anteriores.

Desafíos operativos y de implementación

El Instituto Humboldt ha logrado avances significativos en la promoción del monitoreo digital en la Amazonía, pero persisten varios obstáculos clave. La limitada infraestructura de internet y energía eléctrica en las zonas remotas restringe la transmisión de datos en tiempo real y el funcionamiento de los dispositivos, en particular en el caso de las cámaras trampa y los sensores acústicos, muy vulnerables a la humedad y a la pérdida de energía. Al mismo tiempo, los enormes volúmenes de datos generados por los sensores y los satélites siguen desbordando la capacidad local de procesamiento y almacenamiento. La adopción efectiva de nuevas herramientas, como el ADN ambiental y el monitoreo acústico facilitado por la IA, se ve limitada aún más por la falta de infraestructura de laboratorio suficiente, las escasas bibliotecas de referencia de especies y la necesidad de contar con anotaciones validadas por expertos para mejorar la precisión de los modelos en el complejo ecosistema amazónico. En relación con la capacidad, muchos usuarios no especialistas tienen dificultades para manejar herramientas informáticas que no son intuitivas, y la participación sostenida de la comunidad depende de que se puedan ofrecer capacitación continua, mecanismos de apoyo y marcos claros de propiedad de los datos. Por último, para garantizar la viabilidad a largo plazo de los esfuerzos de monitoreo a gran escala se requiere un financiamiento estable y diversificado, sin el cual la expansión y el mantenimiento de los sistemas de monitoreo digitales siguen en riesgo.

Más información:

- Instituto Humboldt
- Plataforma BioModelos
- Plataforma Biotablero
- *BioModelos: A collaborative online system to map species distributions*¹¹⁰

Instalación de cámaras trampa para apoyar el monitoreo participativo en el Resguardo Indígena Yaguara II, ubicado en los Llanos del Yarí, un territorio ancestral de vital importancia para la conservación de la biodiversidad amazónica

Fotografía:
Instituto
Humboldt.



¹⁰⁹ Por ejemplo, los datos acústicos se procesan utilizando Raven, un *software* desarrollado en la Universidad Cornell.

¹¹⁰ Velásquez-Tibatá, J. y otros (2019), *BioModelos: A collaborative online system to map species distributions*, PLOS ONE, 14(3), p. e0214522. doi:10.1371/journal.pone.0214522.

ESTUDIO DE CASO 3

Mejora del monitoreo meteorológico, agrometeorológico, climático e hidrológico mediante tecnologías digitales integradas

La información básica



El desafío



La Amazonía peruana está expuesta a crecientes presiones ambientales, como la deforestación, el uso ilegal de la tierra, la minería ilegal y amenazas climáticas cada vez más graves. En 2023, el caudal de los principales afluentes, como el Ucayali y el Marañón, registraron niveles históricamente bajos, lo que provocó escasez de agua y interrupciones en el transporte, la pesca y la agricultura, así como en la prestación de servicios básicos, incluidas la energía, la salud y la educación.

Los incendios forestales se han vuelto más frecuentes e intensos, impulsados por las prolongadas estaciones secas y el aumento de las temperaturas. El monitoreo eficaz para permitir y priorizar la prevención de estas amenazas sigue siendo limitado debido a la escasa cobertura de las estaciones meteorológicas, en particular en zonas remotas como Loreto, Ucayali y Madre de Dios.

Las partes interesadas

SECTOR PÚBLICO

- SENAMHI (institución principal) de Perú
- Oficina General de Tecnologías de la Información (desarrolla la infraestructura y las plataformas de datos)

SECTOR SOCIAL

- Comunidades locales

Panorama general y logros principales

El SENAMHI ha establecido un marco nacional integral para el monitoreo meteorológico e hidrológico, sacando provecho de las tecnologías digitales avanzadas y las actividades localizadas. Opera 1053 estaciones meteorológicas e hidrológicas convencionales y automáticas, y 4 áreas de observación de altura en todo el país. Estas estaciones monitorean variables tales como precipitaciones, temperatura, calidad del aire, nivel de los ríos y humedad del suelo, entre otras, para brindar servicios oportunos y precisos a la sociedad peruana. Asimismo, con el fin de optimizar el monitoreo meteorológico, climático, hídrico y ambiental y adaptarse al cambio climático y a los impactos ambientales antropogénicos, el SENAMHI cuenta con 1 estación global de monitoreo atmosférico en la que se miden los gases de efecto invernadero, 19 estaciones integradas en la Red Mundial Básica de Observaciones (GBON) y 12 en la Red Regional Básica de Observaciones (RBON), todas las cuales contribuyen al Sistema Mundial Integrado de la Organización Meteorológica Mundial.

La Plataforma de Computación de Alto Rendimiento "NUNA" (que significa "alma" en quechua) es un elemento central de

este marco: cuenta con 6300 núcleos de procesamiento y 4,8 petabytes de almacenamiento, lo que permite elaborar pronósticos en tiempo real y modelos climáticos avanzados. Para dimensionar las cifras, esto equivale a tener más de 6300 computadoras portátiles trabajando conjuntamente como un sistema de alta capacidad. Con esta configuración se puede procesar en un día lo que a una computadora portátil convencional le llevaría décadas, y tiene memoria suficiente para almacenar más de un millón de películas en HD. NUNA permite al SENAMHI generar y desarrollar productos relacionados con la modelización numérica, reducir las lagunas de información en meteorología, hidrología y agrometeorología, disminuir la incertidumbre de las predicciones, minimizar el tiempo necesario para elaborar escenarios de cambio climático, y aumentar al mismo tiempo su resolución espacial hasta una cuadrícula de 5 kilómetros de lado a nivel nacional.

El SENAMHI emplea una amplia gama de tecnologías digitales, entre las que se incluyen imágenes satelitales de alta resolución, LiDAR, drones, aplicaciones móviles, sistemas de almacenamiento en la nube y sensores sin conexión. Los datos de las estaciones automáticas se actualizan cada hora y se transmiten directamente a las bases de datos

institucionales. Las estaciones convencionales transmiten datos dos o tres veces al día, según la conectividad disponible. En las zonas remotas, los sistemas de comunicación por satélite facilitan la transmisión de datos.

La institución también ha desarrollado una estación meteorológica propia de bajo costo que aprovecha la tecnología de impresión 3D, y actualmente está realizando pruebas para evaluar su potencial. Además, utiliza la ecosonda HYDRONE RCV para realizar estudios de inundaciones fluviales y el perfilador acústico de corriente Doppler (ADCP) M-9 para mejorar las estimaciones del caudal de los ríos. Este monitoreo en capas garantiza una cobertura integral, incluso en zonas de difícil acceso.

El SENAMHI ha estado fortaleciendo e integrando plataformas digitales informáticas para prestar servicios de información, como PHISIS, SILVIA, SONICS y OASIS, entre otras.¹¹¹ Las plataformas OASIS y SONICS facilitan las evaluaciones de sequías y posibles inundaciones, mientras que PHISIS permite el monitoreo de los datos hidrológicos en tiempo real. El SENAMHI también ha desarrollado la Infraestructura de Datos Espaciales (IDSEP), una plataforma institucional con la que busca integrar la información geoespacial en sus departamentos y compartir datos oficiales con las partes interesadas. Esta plataforma facilita el intercambio de información geoespacial a través de servicios interoperables confiables y estandarizados, al tiempo que promueve la cooperación regional en la gestión de datos ambientales. Su objetivo es contribuir al análisis y la toma de decisiones basados en información geoespacial, hidrometeorológica y climática confiable, oportuna, oficial y estandarizada, mediante la gestión eficiente de diversos procesos de producción, centralización y distribución desarrollados por las distintas unidades técnicas de la institución. El SENAMHI también presta servicios climáticos especializados para el sector de la salud, entre los que figuran mapas en los que se proyecta la probabilidad de aparición de casos de dengue y paludismo hasta 2050. Estos servicios respaldan la planificación de la salud pública y las medidas de adaptación frente al cambio climático.

Apoyo operacional y costos

Las operaciones del SENAMHI se financian principalmente mediante asignaciones del presupuesto nacional. El costo de adquirir una única estación de monitoreo supera los USD 30 000, mientras que el mantenimiento y la logística, especialmente en zonas remotas de la Amazonía, pueden ser muy onerosos. Los costos operativos anuales superan el USD 1 millón, y aún no se ha estimado la expansión total del sistema. Se calcula que el costo de tres proyectos de inversión con los que se busca cubrir las regiones amazónicas de Loreto, Ucayali y Madre de Dios será de aproximadamente USD 32 millones. Para diversificar su financiamiento, el SENAMHI está analizando y, en algunos casos, implementando APP, así como mecanismos de financiamiento climático, entre los que figuran los bonos verdes y los créditos de carbono, además de donaciones de fondos ambientales multilaterales. Estos esfuerzos se ven respaldados por una hoja de ruta de sostenibilidad financiera que prioriza las alianzas institucionales y el fortalecimiento de capacidades descentralizadas.



Desafíos operativos y de implementación

Existen varios desafíos de implementación, en particular en relación con la falta de infraestructura digital y los elevados costos de la ampliación, el mantenimiento y la operación de las actividades de monitoreo del SENAMHI. En muchas estaciones, la conectividad a internet y el suministro eléctrico son poco confiables, lo que retrasa la transmisión y el análisis de datos. Las estaciones de monitoreo y el trabajo de campo en zonas alejadas requieren una inversión considerable, especialmente en la Amazonía, donde se encuentran algunos sitios muy alejados y de difícil acceso. Las condiciones adversas, como la humedad y la densa cubierta vegetal, acortan la vida útil de los equipos y dificultan el monitoreo aéreo. Para no perder su eficacia, muchos de los componentes requieren mantenimiento, actualizaciones y mejoras. Además, son pocos los expertos locales con habilidades digitales específicas, lo que limita la posibilidad de ampliar la aplicación de las tecnologías avanzadas. También persisten las dificultades para armonizar los datos de distintos sistemas y formatos.

Para hacer frente a estos desafíos y mejorar sus capacidades de monitoreo digital, el SENAMHI ha establecido varias prioridades estratégicas. Entre ellas figuran la ampliación de las estaciones automáticas de monitoreo para permitir una recopilación de datos más precisa, frecuente y autónoma, así como inversiones en soluciones de conectividad, como instalación de radares, internet satelital y sistemas de energía sin conexión a la red, con los que se busca facilitar la transmisión de datos en tiempo real desde lugares remotos. El fortalecimiento de la capacidad local mediante la capacitación específica y la participación de la comunidad también se considera esencial para mejorar la sostenibilidad operativa. Además, el SENAMHI está priorizando mejoras en la interoperabilidad y la transparencia de los datos, incluida la ampliación de plataformas como la IDSEP para promover el libre acceso a la información y su difusión.

Más información:

- [SENAMHI](#)
- [Mapa de estaciones del SENAMHI](#)
- [Infraestructura de Datos Espaciales \(IDSEP\) del SENAMHI de Perú](#)
- [Atlas de Temperatura del Aire y Precipitación del Perú](#)
- [¿Qué es el Atlas de Temperaturas del Aire y Precipitación del Perú?](#)
- [Catálogo de productos, estudios e investigaciones disponibles de la Sub Dirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas \(SEH\), período 2021-2025](#)

¹¹¹ Véase <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/4186>

ESTUDIO DE CASO 4

Tecnologías digitales que respaldan la gestión y el monitoreo territorial y ambiental indígena

La información básica



El desafío



Los territorios indígenas situados en el bioma amazónico son vitales para la biodiversidad y el almacenamiento de carbono, pero están sujetos a amenazas crecientes derivadas del cambio climático, la tala ilegal, la caza furtiva, la usurpación de tierras y la degradación ambiental. En Acre (Brasil), las comunidades indígenas también enfrentan fenómenos climáticos graves, como inundaciones históricas y sequías prolongadas que han destruido cultivos, ganado, viviendas e infraestructura. Los cambios ambientales y las presiones externas pueden alterar las prácticas tradicionales y los vínculos espirituales con la tierra.

Estos problemas se ven agravados por el escaso financiamiento público, la infraestructura deficiente y la falta de reconocimiento formal de los vigiladores ambientales indígenas. La vigilancia de los grupos en aislamiento voluntario y la dinámica de las zonas fronterizas complican aún más la protección territorial en la región. Muchas de las tierras indígenas de Acre aún están en una situación jurídica incierta, con los procesos de demarcación retrasados o impugnados por actores políticos e intereses económicos. Incluso en las zonas demarcadas, el cumplimiento de los derechos sigue siendo deficiente, lo que expone a las comunidades a amenazas externas y violencia.

Las partes interesadas

SECTOR PÚBLICO	DONANTES Y ASOCIADOS	SECTOR SOCIAL
 • FUNAI • IBAMA • ICMBio¹ • Policía federal • MPF² • SEPI-AC³ • MPI⁴	 • Fondo Amazonía-BNDES⁵ • NORAD⁶ • KfW⁷ • Fundación Noruega para los Bosques Tropicales • IPAM	 • CPI-ACRE (institución principal) • Comunidades indígenas

1 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Instituto Chico Mendes de Conservación de la Biodiversidad) (Brasil).
2 Ministério Público Federal (Brasil)
3 Secretaria Extraordinária dos Povos Indígenas do Acre (Secretaría Extraordinaria de los Pueblos Indígenas de Acre) (Brasil)
4 Ministério dos Povos Indígenas (Ministerio de los Pueblos Indígenas) (Brasil)
5 Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social) (Brasil)
6 Agencia Noruega para la Cooperación en el Desarrollo
7 Kreditanstalt für Wiederaufbau (Instituto de Crédito para la Reconstrucción) (Alemania)

Panorama general y logros principales

En este estudio de caso se ponen de relieve los esfuerzos de la Comisión Proindígenas de Acre (CPI-Acre) y de varios grupos indígenas por fortalecer el monitoreo territorial y la gestión ambiental dirigida por los propios indígenas mediante tecnologías digitales. CPI-Acre trabaja en varios territorios a través de una estrategia digital de múltiples niveles y ha apoyado el desarrollo de sistemas de monitoreo dirigidos por los propios indígenas que combinan geotecnologías,

conocimientos tradicionales y gestión participativa. Las iniciativas se han centrado en la gestión territorial y ambiental, así como en el fortalecimiento de las cadenas de valor sostenibles dentro de los territorios indígenas.

Los principales componentes tecnológicos de los sistemas de monitoreo dirigidos por los pueblos indígenas incluyen imágenes satelitales y SIG para detectar cambios en el uso de la tierra e identificar puntos críticos de deforestación. Se utilizan drones para captar imágenes de alta resolución

que permitan identificar y documentar la degradación ambiental y las parcelas productivas. Los vigiladores utilizan aplicaciones móviles como el Sistema de Observación y Monitoreo de la Amazonía Indígena (SOMAI) y la aplicación Alerta Clima Indígena (ACI). El sistema SOMAI-ACI recopila, registra y difunde datos e información sobre los territorios indígenas en la Amazonía. Estos registros se compilan en bases de datos en la nube que se utilizan para el análisis espacial, la elaboración de mapas y la comunicación específica con partes interesadas externas. El IPAM desarrolló las herramientas asociadas con SOMAI-ACI a solicitud de sus socios indígenas, como la Coordinación de Organizaciones Indígenas de la Amazonía Brasileña.

La CPI-Acre también desempeña un papel clave en el fortalecimiento de los sistemas agroforestales indígenas a través del apoyo sostenido que brinda a sus agentes agroforestales. Estos agentes actúan en múltiples territorios indígenas promoviendo el uso sostenible de la tierra, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia climática mediante la revitalización de las prácticas agrícolas tradicionales. Trabajan en estrecha colaboración con el equipo técnico de la CPI-Acre y están capacitados para monitorear y documentar parcelas agroforestales, evaluar la salud del suelo y los cultivos, e identificar los impactos del cambio climático, como inundaciones y sequías. Su labor no solo contribuye a la restauración ambiental, sino que también propicia la seguridad alimentaria y la generación de ingresos mediante el cultivo de especies nativas y comerciales. Para mejorar la capacidad de monitoreo de los agentes agroforestales, la CPI-Acre ha incorporado una aplicación móvil de mapeo que les permite navegar, recopilar y visualizar datos espaciales en entornos sin conexión. Mediante mapas georreferenciados proporcionados por el equipo de geoprocusamiento de la CPI-Acre, pueden rastrear los límites de las parcelas agroforestales, marcar las características ecológicas pertinentes y documentar los cambios en el uso o la productividad de la tierra a lo largo del tiempo. La aplicación permite integrar puntos de GPS, fotografías y notas de campo, que posteriormente se exportan y

analizan para generar informes y orientar la toma de decisiones tanto de las comunidades como de las instituciones.

La introducción de aplicaciones móviles para captar datos ha contribuido a modernizar y estandarizar la recopilación de datos de campo, preservando al mismo tiempo la autonomía indígena en la gestión ambiental. Su uso también ha fortalecido el nexo entre los conocimientos agroecológicos tradicionales y la innovación digital, mostrando cómo las tecnologías adaptadas al contexto pueden respaldar la implementación de enfoques de bases culturales sólidas para la adaptación climática y la gobernanza territorial. Estas tecnologías han permitido documentar de manera más estructurada y eficaz las amenazas ambientales, elaborar informes especializados para los organismos encargados de hacer cumplir la ley, resolver conflictos internos y comprender mejor los impactos del cambio climático en los territorios indígenas.

La participación comunitaria constituye un componente fundamental de la recopilación de datos locales. Desde 2017, se han llevado a cabo sesiones de capacitación participativas, entre las que figuran más de 50 talleres técnicos, muchos en el Centro de Formación de los Pueblos del Bosque (Centro de Formação dos Povos da Floresta) y otros directamente en aldeas indígenas para adaptar los contenidos a los contextos locales, lo que ha permitido fortalecer la capacidad de cientos de vigiladores indígenas. Estos vigiladores participan en actividades de capacitación entre pares, identifican prioridades territoriales y garantizan un flujo de información cultural y políticamente pertinente. También respaldan la movilización comunitaria, la resolución de conflictos y la gobernanza interna. La información se analiza y se transmite a las comunidades a través de un intercambio continuo que mejora la toma de decisiones y la promoción a nivel local. En cuanto a la gobernanza de datos, la CPI-Acre promueve la soberanía de los pueblos indígenas sobre los datos, el mapeo participativo y la integración del conocimiento tradicional con la innovación digital. La CPI-Acre y diversos representantes indígenas están ultimando un protocolo de gobernanza de datos elaborado de manera conjunta.

La Comisión Proindígenas de Acre promueve un curso de capacitación para agentes agroforestales indígenas



Fotografía: Ila Verus (CPI-Acre).

Apoyo operacional y costos

La implementación de tecnologías digitales de monitoreo en los territorios indígenas de Acre requiere una combinación de infraestructura, capacidad humana y recursos financieros. La infraestructura clave incluye energía solar, teléfonos inteligentes, drones, GPS, embarcaciones, internet satelital y *software* de cartografía. La capacitación se adapta a los diferentes niveles educativos e idiomas de las comunidades indígenas.

Una configuración de monitoreo típica para una comunidad —que incluye un equipo de energía solar, un teléfono inteligente, un dispositivo GPS básico, un dron y conexión a internet— tiene un costo de entre USD 3000 y USD 15 000, dependiendo de las características técnicas, la ubicación y la complejidad logística. Las visitas de campo y las misiones, que a menudo requieren transporte en embarcaciones y noches de alojamiento, pueden costar entre USD 800 y USD 5000 por viaje, según la distancia y la cantidad de personas que conformen el equipo. Actualmente, las operaciones y la ejecución de proyectos se financian a través de donaciones a corto y mediano plazo, con un costo operativo anual estimado de entre USD 200 000 y USD 300 000 para sostener el monitoreo de campo, el apoyo técnico, el mantenimiento de los equipos y la participación comunitaria.

Desafíos operativos y de implementación

A pesar de los avances recientes, persisten importantes desafíos operativos y sistémicos. El suministro eléctrico poco confiable y la limitada conectividad a internet continúan

obstaculizando la transmisión de datos en tiempo real y reducen la funcionalidad de herramientas digitales como los dispositivos de GPS, drones y aplicaciones móviles, especialmente en zonas remotas. La logística complica aún más las actividades de monitoreo, ya que para llegar a muchos territorios se requieren transporte aéreo o viajes en embarcación de varios días de duración, lo que eleva los costos operativos y retrasa el mantenimiento de los equipos debido a la falta de opciones locales para su reparación. El financiamiento sigue siendo inestable, dado que los esfuerzos de monitoreo indígena dependen en gran medida de proyectos de donantes a corto plazo y no de un presupuesto público sostenido, lo que limita la continuidad del personal capacitado e impide la ampliación de las iniciativas exitosas. Si bien se ha capacitado a más de 360 vigiladores indígenas en el uso de herramientas digitales, persisten las barreras a la alfabetización digital; las necesidades de aprendizaje continuo están determinadas por la diversidad lingüística, los distintos niveles educativos y los contextos culturales específicos. La falta de apoyo a largo plazo restringe la plena integración de estas tecnologías en la gobernanza territorial cotidiana. Además, si bien la CPI-Acre está a punto de terminar de elaborar un protocolo de gobernanza de datos compartido para salvaguardar la gestión segura y la soberanía indígena, aún está pendiente su plena integración operativa con los sistemas públicos.

Para obtener más información:

- [CPI - Acre](#)

Cursos de capacitación en Acre



Fotografía: (CPI-Acre).

Bibliografía

- Adams, M. M., 2024. Indigenous Fire Data Sovereignty: Applying Indigenous Data Sovereignty Principles to Fire Research. *Fire*.
- Adeleke, F., 2022. Symposium on the Economic Impacts of Data Localisation in Africa: Introduction. [Online] Available at: <https://www.afronomicslaw.org/category/analysis/symposium-economic-impacts-data-localisation-africa-introduction>
- Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, 2025. Cobertura Móvel. [Online] Available at: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/cobertura-movel> [Accessed 2025].
- Alarcon Lopez, L. G., Ayala Roa, M. & Marques de Costa Jacomassi, E., 2022. C2DB: Crowdsourcing to Identify Digital Gaps and to Estimate the Cost of Bridging those Gaps, Washington, D.C.: Inter-American Development Bank..
- Albert, J. S. et al., 2023. Human impacts outpace natural processes in the Amazon, s.l.: s.n.
- Altino, L., 2024. With a deficit of environmental agents, Brazil has one inspector for every thousand square kilometers of preserved areas - National Network for Conservation Units, s.l.: s.n.
- Amazon Watch, 2022. Amazon Watch. [Online] Available at: <https://amazonwatch.org/news/2022/0905-amazonia-against-the-clock>
- Amazon, 2025. Amazon Sustainability Data Initiative. [Online] Available at: <https://exchange.aboutamazon.com/data-initiative> [Accessed 2025].
- Amnesty International, 2022. Ecuador: Constitutional Court ruling to protect indigenous peoples from mining projects affecting their human rights. s.l.: Amnesty International.
- Angarova, G. et al., 2022. The GEO Indigenous Alliance; Perspectives, Opportunities and Challenges of Earth Observations for Disaster Risk Reduction, s.l.: UNDRR.
- Araujo, R. & Mourão, J., 2023. The Amazon Domino Effect: How Deforestation Can Trigger Widespread Degradation, s.l.: Climate Policy Initiative.
- Artaxo, P., 2023. Amazon deforestation implications in local/regional climate change, s.l.: s.n.
- Arts, K., van der Wal, R. & Adams, W. M., 2015. Digital technology and the conservation of nature. *Ambio*.
- Assunção, J., Gandour, C. & Rocha, R., 2013. DETERRing Deforestation in the Brazilian Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement, s.l.: Climate Policy Initiative.
- Baragwanath, K. & Bayi, E., 2020. Collective property rights reduce deforestation in the Brazilian Amazon, s.l.: s.n.
- Bowman, K. W. et al., 2021. Environmental degradation of indigenous protected areas of the Amazon as a slow onset event. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Volume 50.
- Brasil, W., 2024. Interview with WWF Brasil [Interview] (17 June 2024).
- Buxton, R. T., Lendrum, P. E., Crooks, K. R. & Wittemyer, G., 2018. Pairing camera traps and acoustic recorders to monitor the ecological impact of human disturbance. *Global Ecology and Conservation*.
- Carvalho, I. S. d., 2023. Data analytics can help protect the Amazon Basin. Here's how, s.l.: World Economic Forum.
- Cavalcanti, D., 2024. G20: Digital connectivity to advance sustainable development, s.l.: s.n.
- CEPAL, 2024. CEPALSTAT Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas. [Online] Available at: https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?indicator_id=3482&area_id=639&lang=es
- Colquhoun, A. et al., 2023. Exploring barriers and incentives to digital solutions in Natural Resource Management, s.l.: s.n.
- Conexao Povos da Floresta, 2025. Nossos Mapas. [Online] Available at: <https://conexaopovosdafloresta.org.br/mapas/>
- Convention on Biological Diversity, 2020. Aichi Biodiversity Targets. [Online] Available at: <https://www.cbd.int/sp/targets>
- Córdova, A. & Lefevre, B., 2016. Peru's National Climate Law: A critical step towards reducing global emissions. s.l.: LEDS Global Partnership.
- CPTEC/INPE, n.d.. Divisão de Modelagem Numérica do Sistema Terrestre CPTEC/INPE. [Online] Available at: <http://www3.cptec.inpe.br/dimnt/modelos-numericos/> [Accessed 2025].
- Cruz, P. D. L. et al., 2020. Indicators of well-being among indigenous peoples of the Colombian Amazon: Tensions between participation in public policy making and autonomy. *Environmental and Sustainability Indicators*.
- DANE, 2023. Indicadores básicos de TIC en Hogares. [Online] Available at: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-tic/indicadores-basicos-de-tic-en-hogares>
- Dyson, K. et al., 2024. Coupling remote sensing and eDNA to monitor environmental impact: A pilot to quantify the environmental benefits of sustainable agriculture in the Brazilian Amazon. *PLoS ONE*.
- EarthRanger, 2024. Interview with EarthRanger [Interview] (10 April 2024).
- Environmental Monitoring of Brazilian Biomes project, n.d. [Online] Available at: <https://data.inpe.br/bdc/web/en/home-page-2/>
- eSIMo, 2024. Amazon Rainforest: Challenges for Mobile Connectivity in South America. [Online] Available at: <https://de.esimo.io/post/amazon-rainforest-cellular-connectivity-challenges>
- Faleiros, G., 2011. Looking Down on Deforestation: Brazil Sharpens Its Eyes in the Sky to Snag Illegal Rainforest Loggers | Scientific American. *Scientific American*, 12 April.
- Federal, P., 2024. Interview with Policia Federal [Interview] (3 July 2024).
- Flores, M. et al., 2010. WWF's Living Amazon Initiative: A comprehensive approach to conserving the largest rainforest and river system on Earth, s.l.: WWF.
- Floresta, C. P. d., 2024. Interview with Conexões Povos da Floresta [Interview] (21 May 2024).
- Fundação Roberto Marinho, 2025. Fundação Roberto Marinho. [Online] Available at: <https://www.frm.org.br/conteudo/mobilizacao-social/noticia/conexao-povos-da-floresta-amplia-alcance-e-conecta-1400>
- Gandour, C., 2021. Public Policies for the Protection of the Amazon Forest What Works and How to Improve, s.l.: s.n.
- Garcia, B. et al., 2024. Large-scale forest protection: the successful case of the Kayapo people in the Brazilian Amazon. *Regional Environmental Change*.
- Global Forest Watch, 2025. Global Forest Watch Map. [Online] Available at: <https://www.globalforestwatch.org/my-gfw/>
- Global Indigenous Data Alliance, 2018. CARE Principles for Indigenous Data Governance. [Online] Available at: <https://www.gida-global.org/care> [Accessed 2025].
- Goldman, E., Carter, S. & Sims, M., 2025. Fires Drove Record-breaking Tropical Forest Loss in 2024. [Online] Available at: <https://gfr.wri.org/latest-analysis-deforestation-trends> [Accessed 2025].

- Government of Brazil, 2021. Decreto Nº 10.800, De 17 De Setembro De 2021. [Online] Available at: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Decreto/D10800.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2010.800%2C%20DE%2017,que%20lhe%20confer%20o%20art
- Government of Brazil, 2024. Infovias do Norte Conectado levaram inclusão digital à região Amazônica. [Online] Available at: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2024/janeiro/infovias-do-norte-conectado-levaram-inclusao-digital-a-regiao-amazonica#:~:text=Infovias%20do%20Norte%20Conectado%20levaram%20inclus%C3%A3o%20digital%20%C3%A0%20regi%C3%A3o%20Amaz%C3%B4nica,-A%20inaugura>
- Government of Colombia, 2024. Proyecto Nacional de Conectividad Alta Velocidad. [Online] Available at: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Atencion-y-Servicio-a-la-Ciudadania/Preguntas-frecuentes/52063:Proyecto-Nacional-de-Conectividad-Alta-Velocidad>
- Government of Peru, 2002. Law Introducing A Protection Regime For The Collective Knowledge Of Indigenous Peoples Derived From Biological Resources. s.l.:Official Journal "El Peruano".
- Government of Peru, 2024. MTC: Conecta Selva permitió más de 500 mil conexiones a Internet en zonas rurales de la Amazonía - Noticias - Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Plataforma del Estado Peruano. [Online] Available at: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/947560-mtc-conecta-selva-permitio-mas-de-500-mil-conexiones-a-internet-en-zonas-rurales-de-la-amazonia>
- GSMA, 2025. The Mobile Economy Latin America 2025, s.l.: GSMA.
- Gundi Partnership, 2025. GUNDI. [Online] Available at: <https://projectgundi.org/> [Accessed 26 July 2025].
- Haworth, A., Frandon-Martinez, C., Fayolle, V. & Simonet, C., 2016. Climate Resilience and Financial Services, s.l.: BRACED Knowledge Manager.
- Hoschsprung Miguel, J. C., Mahony, M. & Alves Monteiro, M. S., 2019. "Infrastructural geopolitics" of climate knowledge: the Brazilian Earth System Model and the North-South knowledge divide. Scielo Brazil.
- Humbolt, I., 2024. Interview with Instituto Humbolt [Interview] (16 May 2024).
- IBGE, 2024. [Online] Available at: https://amazonialegalemdados.info/dashboard/perfil.php?regiao=Amaz%C3%B4nia%20Legal&area=Infraestrutura__122&indicador=TX_PNAD_TIC_POP_INTERNET_UF__122
- INEI, 2025. [Online] Available at: <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/population-access-to-internet/>
- INPE, 2024. Interview with INPE [Interview] (21 June 2024).
- Kanindé, 2024. Interview with Kanindé [Interview] (6 June 2024).
- Lima, A. C. B. D. et al., 2019. Climate hazards in small and medium cities in the Amazon Delta and Estuary: challenges for resilience. Environment & Urbanization.
- Lima, L. S. d., Oliveira e Silva, F. E., Dorio Anastacio, P. R. & Marcela de Paula Kolanski, M., 2024. Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. Communications Earth & Environment.
- Llactayo, J. S. C. A. P. T. A. W. & Leader-Williams, N., 2017. Conservation performance of different conservation governance regimes in the Peruvian Amazon. Scientific Reports.
- MacCarthy, J. et al., 2024. The Latest Data Confirms: Forest Fires Are Getting Worse, s.l.: s.n.
- Mair, L. et al., 2021. A metric for spatially explicit contributions to science-based species targets. Nature Ecology & Evolution.
- Mapbioma Fogo, 2025. MapBiomias: Monitor do Fogo. [Online] Available at: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/monitor-do-fogo>
- McGovern, A., Ebert-Uphoff, I., Gagne II, D. J. & Bostrom, A., 2022. Why we need to focus on developing ethical, responsible, and trustworthy artificial intelligence approaches for environmental science. Cambridge University Press.
- Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação, 2011. Arquitetura Técnica Referencial para Abertura de Dados, s.l.: Departamento de Integração, Government of Brazil.
- More, T., 2022. Including Indigenous Peoples in Geospatial Services. Frontiers in Climate.
- Morrell, E., Groot, D. & Colquhoun, A., 2024. The Nature Tech Nexus: Bridging biodiversity and business, s.l.: GSMA.
- Mulville, G., Martinez, J. G. & Sharma, A., 2024. Protecting the Amazon Region with AI, Algorithms and Data. s.l.:s.n.
- Nagano, Y. et al., 2024. The Forest Stack, s.l.: Japan International Cooperation Agency (JICA) and Boston Consulting Group (BCG).
- Nobre, C. et al., 2016. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm, s.l.: s.n.
- Órgãos Federais combatem crimes ambientais na Terra Indígena Uru-eu-wau-wau em Rondônia [Online] <https://www.gov.br/funai/pt-br/assuntos/noticias/2022-02/orgaos-federais-combatem-crimes-ambientais-na-terra-indigena-uru-eu-wau-wau-em-rondonia>
- Ortiz, E., 2020. The Escazú Agreement: Internationalizing the Amazon?. s.l.:s.n.
- OTCA, 2018. Programa de acciones estratégicas. Estrategia Regional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Cuenca Amazónica, s.l.: s.n.
- Papa, F. et al., 2013. Surface freshwater storage and variability in the Amazon basin from multi-satellite observations, 1993–2007, s.l.: s.n.
- Pfeifer, H., 2020. Amazon tribes are using drones to track deforestation in the Brazilian rainforest, s.l.: s.n.
- Pinho, P. et al., 2025. Escalating Climate Disasters in the Amazon: Vulnerabilities and Compound Risks.. Nature Communications, forthcoming.
- Pinho, P., Silvestrini, R., Fellows, M. & Perez, L. P., 2024. Escalating Climate Disasters in the Amazon (2006- 2022): Vulnerabilities and Compound Risks. Research Square.
- Planet, 2022. Geospatial Technology Helps in the Fight Against Environmental Crimes in Brazil: A Joint Success Case, s.l.: July.
- Rainforest Connection, n.d.. Arbimon: AI empowered biodiversity research & conservation action. [Online] Available at: <https://arbimon.org/explore?search=amazon>
- Rakholia, S., Mehta, A. & Suthar, B., 2021. Forest Fire Monitoring of Shoolpaneshwar Wildlife Sanctuary, Gujarat, India using Geospatial Techniques. Current Science.
- Riveros, J., 2012. Data Basin. [Online] Available at: <https://databasin.org/datasets/7c01a6d-864fe4158b455c812ab040b1f/> [Accessed 22 October 2012].
- Ruffino, M. L., 2024. Interview with Mauro Luis Ruffino (ACTO) [Interview] (04 01 2024).
- Sandbrook, C. et al., 2021. Principles for the socially responsible use of conservation monitoring technology and data. Conservation Science and Practice, 3 March.
- Schaedler, C., 2024. Can countries work together to save the Amazon?. s.l.:s.n.
- Schaeffer, R. & Barrantes, R., 2023. A New Infrastructure For the Amazon, s.l.: Science Panel for the Amazon.
- Schilfgaarde, L. v., 2020. The Need For Confidentiality Within Tribal Cultural Resource Protection, Los Angeles: Tribal Legal Development Clinic, UCLA School of Law.
- Schipper, A. M. et al., 2019. Projecting terrestrial biodiversity intactness with GLOBIO 4. Global Change Biology.

- Schwabe, M., Pastori, L., de Vega, I. & Gentine, P., 2025. Opportunities and challenges of quantum computing for climate modelling. *Environmental Data Science*.
- Schwartzman, S. & Zimmerman, B., 2005. Conservation Alliances with Indigenous Peoples of the Amazon. *Conservation Biology*.
- Science Panel for the Amazon, 2021. Amazon Assessment Report 2021, s.l.: Science Panel for the Amazon.
- Science Panel for the Amazon, 2021. Amazon Assessment Report 2021, s.l.: Science Panel for the Amazon.
- Science Panel for the Amazon, 2021. Executive Summary of the Amazon Assessment Report 2021, New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network.
- SEMA-AM, 2024. Interview with SEMA-AM [Interview] 2024.
- SEMAS-Pará, 2024. Interview with SEMAS-Pará [Interview] (7 May 2024).
- SENAMHI Peru, 2024. IGP y Senamhi firman convenio para fortalecer el monitoreo y la vigilancia ante eventos climáticos extremos en el norte y centro del país. s.l.: Government of Peru: Ministry of the Environment.
- Sensors & Systems, 2012. Colombia's IDEAM Selects Intergraph's ERDAS APOLLO to Protect Citizens, Property and Natural Resources. s.l.: Sensors & Systems.
- SERNANP, 2016. Documento de Trabajo 18: El aplicativo SMART como herramienta para la gestión de información de vigilancia y control en las Áreas Naturales Protegidas del Perú, s.l.: SERNANP.
- SERNANP, 2024. Interview with SERNANP [Interview] (27 May 2024).
- Shirai, L. T. et al., 2024. "Savannization of the Amazon" is a term that reinforces the Cerrado neglect. *Perspectives in Ecology and Conservation*.
- Slough, T., Kopas, J. & Urpelainen, J., 2021. Satellite-based deforestation alerts with training and incentives for patrolling facilitate community monitoring in the Peruvian Amazon, s.l.: PNAS.
- Smith, E., 2023. AI may hold a key to the preservation of the Amazon rainforest. [Online] Available at: <https://news.microsoft.com/source/latam/features/ai/amazon-ai-rainforest-deforestation/?lang=en>
- Soares, Í. N. & Donario de Azevedo, G., 2023. Caminhos para a conectividade digital da Amazônia brasileira, São Paulo : FGVces.
- Song, S. H., Kaushik, S. & Ricketts, L., 2020. Leaving no one behind in the Amazon: Mapping to support sustainable energy using remote sensing and GIS, s.l.: The World Bank.
- Speaker, T. et al., 2022. A global community-sourced assessment of the state of conservation technology. *Conservation Biology*.
- States Parties to the Amazon Cooperation Treaty, 2023. Declaration Of Belém: Iv Meeting Of Presidents Of States Parties To. Belém, s.n.
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. communities, Free Prior and Informed Consent: An indigenous peoples' right and a good practice for local, s.l.: s.n.
- The Newberry, n.d.. Access to Culturally Sensitive Indigenous Materials. [Online] Available at: <https://www.newberry.org/policies/access-to-culturally-sensitive-indigenous-materials#:~:text=Culturally%20sensitive%20Indigenous%20materials%20are,of%20living%20for%20a%20culture> [Accessed 26 July 2025].
- The World Bank Group, 2023. Cierre de Brecha Digital en el Departamento del Amazonas, s.l.: s.n.
- The World Bank Group, 2024. Rising to the Challenge: Success Stories and Strategies for Achieving Climate Adaptation and Resilience.. Washington, DC: World Bank Publications.
- Turner, W., 2014. Sensing biodiversity. *Science*, 17 October.
- Ukoba, K. et al., 2025. Predictive modeling of climate change impacts using Artificial Intelligence: a review for equitable governance and sustainable outcome. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 32.
- UNFCC Adaptation Committee, 2020. Data for adaptation at different spatial and temporal scales, s.l.: United Nations Framework Convention on Climate Change,.
- UNFCC REDD+, 2024. Brazil's National Forest Reference Emission Level for Results-based Payments for REDD+ under the United Nations Framework Convention on Climate Change, s.l.: s.n.
- United Nations ECLAC, 2024. Sociodemographic inequality gaps in the Amazon region: support for the preparation and implementation of the Amazonian Strategic Cooperation, Santiago: United Nations.
- Velásquez-Tibatá, J. et al. (2019) 'BioModelos: A collaborative online system to map species distributions', *PLOS ONE*, 14(3), p. e0214522. doi:10.1371/journal.pone.0214522.
- Volland, A., 2019. Tracking Amazon Deforestation from Above, s.l.: NASA Earth Observatory.
- Webb, J., Reyntar, K. & Kresek, K., 2020. Geospatial Data Brings Indigenous and Community Lands to the Forefront of Forest Management | Users In Action | Global Forest Watch Blog. s.l., Global Forest Watch.
- WWF, Embedding Human Rights In Nature Conservation: From Intent To Action Human Rights And The Environment Report, 2022. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/hrnc_v16_sp.pdf
- WWF, n.d.. Environmental DNA. [Online] Available at: <https://www.worldwildlife.org/projects/environmental-dna>
- WWF, n.d. Inside the Amazon. [Online] Available at: https://www.panda.org/discover/knowledge_hub/where_we_work/amazon/about_the_amazon/ [Accessed 23 October 2025].
- WWF, n.d.. SMART in Brazil. [Online].
- Yoon, A. & Hohenegger, C., 2025. Muted Amazon Rainfall Response to Deforestation in a Global Storm-Resolving Model. *Geophysical Research Letters*.
- Ywata, e. a., 2025. The Economic Impact Of Digital Transformation in Brazil's Legal Amazon. Forthcoming.
- Zaballos, A. G., Rodríguez, E. I. & Gabarró, P. P., 2021. Informe anual del Índice de Desarrollo de la Banda Ancha: Brecha digital en America Latina y el Caribe, s.l.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Zalles, V., Harris, N., Stolle, F. & Hansen, M. C., 2024. Forest definitions require a re-think. *Communications Earth & Environment*.