



# DE LA BIODIVERSIDAD COLOMBIANA

Lina María Sánchez Clavijo, Bibiana Gómez Valencia, María Cecilia  
Londoño Murcia, Sindy Martínez Callejas, Adriana Restrepo Isaza,  
Carolina Soto Vargas y Jose Manuel Ochoa Quintero

EDICIÓN ACADÉMICA





# MONITO REO

DE LA BIODIVERSIDAD  
COLOMBIANA

Lina María Sánchez Clavijo, Bibiana Gómez Valencia, María Cecilia  
Londoño Murcia, Sindy Martínez Callejas, Adriana Restrepo Isaza,  
Carolina Soto Vargas y José Manuel Ochoa Quintero

EDICIÓN ACADÉMICA



© Lina María Sánchez Clavijo, Bibiana Gómez Valencia, María Cecilia Londoño Murcia, Sindy Martínez Callejas, Adriana Restrepo Isaza, Carolina Soto Vargas, Angélica Díaz Pulido, Susana Rodríguez Buriticá, Cristian Alexander Cruz Rodríguez, Marjorie Pinzón Arias, Ana María Roldán Ortiz, Sergio Rojas Sánchez, Luis Fernando Urbina Gonzalez, Juan Carlos Rey Velasco, Diego Randolph Pérez Rincón, Andrés Felipe Santo Domingo Jácome, María Isabel Arce Plata, Ana Belén Hurtado-Martilletti, Angélica Hernández Palma, Mauricio Aguilar Garavito, Orlando Acevedo-Charry, Andrés Rymel Acosta-Galvis, Nathalie Baena-Bejarano, Kevin Borja-Acosta, Carolina Castro Moreno, Amalia Díaz Peña, Nicolás D. Franco-Sierra, Sandra P. Galeano Muñoz, Daniel García-Villalobos, Fabián Camilo Garzón Ramos, Laura Giraldo Martínez, Roy González-Martínez, Mailyn González Herrera, Carolina Gómez-Posada, Yénifer Herrera Varón, Daniela Martínez Medina, Paola Montoya Valencia, Jhon César Neita Moreno, Jhon Edison Nieto Vargas, Natalia Norden Medina, David Ocampo Rincón, Luz Eneida Ochoa Orrego, María Helena Olaya Rodríguez, Paola Pulido-Santacruz, Juan Carlos Quijano-Tristancho, Nicolás Reyes-Amaya, Laura Viviana Salinas Vargas, Andrés Felipe Suárez Castro, Edwin Tamayo Peña, Juan Sebastián Ulloa Chacón, Elkin Alexi Noguera-Urbano, Camilo Andrés Correa Ayram, Carlos Jair Muñoz Rodríguez, Gabriel Alejandro Perilla Suárez, Héctor Manuel Arango Martínez, Jorge Armando Amador Moncada, Jhonatan Julián Díaz-Timoté, Luis Hernando Romero-Jiménez, Jaime Burbano Girón, María Alejandra Molina-Berbeo, María Camila Díaz Corzo, Angélica María Batista Morales, Daniel Fernando López Lozano, César Gutiérrez Montoya, Julián David Torres Caicedo, Bryan Steven Ramírez Franco, Jairo Alejandro Hernández Cobos, Diana Carolina Rengifo Ruiz, Diana Lucía Díaz Gómez, Jose Manuel Ochoa Quintero, autores, 2024

© Lina María Sánchez Clavijo, Bibiana Gómez Valencia, María Cecilia Londoño Murcia, Sindy Martínez Callejas, Adriana Restrepo Isaza, Carolina Soto Vargas, Jose Manuel Ochoa Quintero, edición académica, 2024

© Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2024  
*Monitoreo de la biodiversidad colombiana*

---

Hecho el depósito que establece la ley  
ISBN impreso: 978-628-7721-29-6  
ISBN digital: 978-628-7721-33-3  
Primera edición, 2024  
Colección: *Humboldtiana*

Instituto de Investigación de Recursos  
Biológicos Alexander von Humboldt  
Bogotá, D. C., Colombia  
[humboldt.org.co](http://humboldt.org.co)

Las denominaciones empleadas y la  
representación del material en esta  
publicación no implican la expresión  
de opinión o juicio alguno por parte del  
Instituto de Investigación de Recursos  
Biológicos Alexander von Humboldt.  
Así mismo, las opiniones expresadas  
no representan necesariamente las  
decisiones o políticas del Instituto. Todos  
los aportes u opiniones expresadas son de  
la entera responsabilidad de los autores  
correspondientes.



Esta obra tiene una versión en acceso  
abierto disponible en el Repositorio  
Institucional Humboldt de documentación  
científica. Puede consultarse en repository.  
[humboldt.org.co](http://humboldt.org.co)

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

**Hernando García Martínez**  
Director general

**Gisele Didier**  
Directora de Conocimiento

**Alicia Lozano Villa**  
Directora de Relacionamiento

**Jose Manuel Ochoa Quintero**  
Gerente del Centro Estudios  
Socioecológicos y Cambio Global

**Luis Miguel Gallego Sepúlveda**  
Editor general

**Gina Gaitán**  
Editora de arte y diseño

#### **Edición**

**Luis Miguel Gallego Sepúlveda**  
Coordinación editorial

**Francisco Díaz-Granados**  
Corrección de estilo

**Laura Naranjo Pulido, Julián Güiza  
Cubides, Jose Hernández Montenegro**  
Diseño y diagramación

**Miguel Sánchez Labrada**  
Diseño de portada

**Felipe Villegas, John Bernal, Paola  
Sánchez, Sindy Martínez, Alvaro Ríos**  
Fotografías

## Catalogación en la fuente -Biblioteca Francisco Javier Matíz

Monitoreo de la biodiversidad colombiana / Lina María Sánchez Clavijo, Bibiana Gómez Valencia, María Cecilia Londoño Murcia, Sindy Martínez Callejas, Adriana Restrepo Isaza, Carolina Soto Vargas, Angélica Díaz Pulido, Susana Rodríguez Buriticá, Cristian Alexander Cruz Rodríguez, Marjorie Pinzón Arias, Ana María Roldán Ortiz, Sergio Rojas Sánchez, Luis Fernando Urbina Gonzalez, Juan Carlos Rey Velasco, Diego Randolph Pérez Rincón, Andrés Felipe Santo Domingo Jácome, María Isabel Arce Plata, Ana Belén Hurtado-Martilletti, Angélica Hernández Palma, Mauricio Aguilar Garavito, Orlando Acevedo-Charry, Andrés Rymel Acosta-Galvis, Nathalie Baena-Bejarano, Kevin Borja-Acosta, Carolina Castro Moreno, Amalia Diaz Peña, Nicolás D. Franco-Sierra, Sandra P. Galeano Muñoz, Daniel García-Villalobos, Fabián Camilo Garzón Ramos, Laura Giraldo Martínez, Roy González-Martínez, Mailyn González Herrera, Carolina Gómez-Posada, Yénifer Herrera Varón, Daniela Martínez Medina, Paola Montoya Valencia, Jhon César Neita Moreno, Jhon Edison Nieto Vargas, Natalia Norden Medina, David Ocampo Rincón, Luz Eneida Ochoa Orrego, María Helena Olaya Rodríguez, Paola Pulido-Santacruz, Juan Carlos Quijano-Tristancho, Nicolás Reyes-Amaya, Laura Viviana Salinas Vargas, Andrés Felipe Suárez Castro, Edwin Tamayo Peña, Juan Sebastián Ulloa Chacón, Elkin Alexi Noguera-Urbano, Camilo Andrés Correa Ayram, Carlos Jair Muñoz Rodríguez, Gabriel Alejandro Perilla Suárez, Héctor Manuel Arango Martínez, Jorge Armando Amador Moncada, Jhonatan Julián Díaz-Timoté, Luis Hernando Romero-Jiménez, Jaime Burbano Girón, María Alejandra Molina-Berbeo, María Camila Díaz Corzo, Angélica María Batista Morales, Daniel Fernando López Lozano, César Gutiérrez Montoya, Julián David Torres Caicedo, Bryan Steven Ramírez Franco, Jairo Alejandro Hernández Cobos, Diana Carolina Rengifo Ruiz, Diana Lucía Díaz Gómez, Jose Manuel Ochoa Quintero; fotografías por Felipe Villegas, John Bernal, Paola Sánchez, Sindy Martínez, Álvaro Ríos – 1 edición. – Bogotá, D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2024.

356 páginas. 20 X 25 cm

Incluye gráficas, tablas, fotografías a color, referencias bibliográficas

ISBN impreso: 978-628-7721-29-6

ISBN digital: 978-628-7721-33-3

1. Monitoreo 2. Seguimiento y evaluación 3. Datos biológicos 4. Datos geográficos 5. Uso de la Biodiversidad 6. Participación y gobernanza 7. Colombia I. Sánchez Clavijo, Lina María II. Gómez Valencia, Bibiana III. Londoño Murcia, María Cecilia, IV. Martínez Callejas, Sindy V. Restrepo Isaza, Adriana VI. Soto Vargas, Carolina VII. Díaz Pulido, Angélica VIII. Rodríguez Buriticá, Susana IX. Cruz Rodríguez, Cristian Alexander X. Pinzón Arias, Marjorie XI. Roldán Ortiz, Ana María XII. Rojas Sánchez, Sergio XIII. Urbina Gonzalez, Luis Fernando XIV. Rey Velasco, Juan Carlos XV. Pérez Rincón, Diego Randolph XVI. Santo Domingo Jácome, Andrés Felipe XVII. Arce Plata, María Isabel XVIII. Hurtado-Martilletti, Ana Belén XIX. Hernández Palma, Angélica XX. Aguilar Garavito, Mauricio XXI. Acevedo-Charry, Orlando XXII. Acosta-Galvis, Andrés Rymel XXIII. Baena-Bejarano, Nathalie XXIV. Borja-Acosta, Kevin XXV. Castro Moreno, Carolina XXVI. Díaz Peña, Amalia XXVII. Franco-Sierra, Nicolás D. XXVII. Galeano Muñoz, Sandra P. XXVIII. García-Villalobos, Daniel XXIX. Garzón Ramos, Fabián Camilo XXX. Giraldo Martínez, Laura XXXI. González-Martínez, Roy XXXII. González Herrera, Mailyn XXXIII. Gómez-Posada, Carolina XXXIV. Herrera Varón, Yénifer XXXV. Martínez Media, Daniela XXXVI. Montoya Valencia, Paola XXXVII. Neita Moreno, Jhon César XXXVIII. Nieto Vargas, Jhon Edison, XXXIX. Norden Medina, Natalia XL. Ocampo Rincón, David XLI. Ochoa Orrego, Luz Eneida XLII. Olaya Rodríguez, María Helena XLIII. Pulido-Santacruz, Paola XLIV. Quijano-Tristancho, Juan Carlos XLV. Reyes-Amaya, Nicolás XLVI. Salinas Vargas, Laura Viviana XLVII. Suárez Castro, Andrés Felipe XLVIII. Tamayo Peña, Edwin XLIX. Ulloa Chacón, Juan Sebastián L. Noguera-Urbano, Elkin Alexei LI. Correa Ayram, Camilo Andrés LII. Muñoz Rodríguez, Carlos Jair LIII. Perilla Suárez, Gabriel Alejandro LIV. Arango Martínez, Héctor Manuel LV. Amador Moncada, Jorge Armando LVI. Díaz-Timoté, Jhonatan Julián LVII. Romero-Jiménez, Luis Hernando LVIII. Burbano Girón, Jaime LIX. Molina-Berbeo, María Alejandra LX. Díaz Corzo, María Camila LXI. Batista Morales, Angélica María LXII. López Lozano, Daniel Fernando LXIII. Gutiérrez Montoya, César LXIV. Torres Caicedo, Julián David LXV. Ramírez Franco, Bryan Steven LXVI. Hernández Cobos, Jairo Alejandro LXVII. Rengifo Ruiz, Diana Carolina LXVIII. Díaz Gómez, Diana Lucía LXIX. Ochoa Quintero, José Manuel LXX. Sánchez Clavijo, Lina María (ed) LXXI. Gómez Valencia, Bibiana (ed) LXXII. Londoño Murcia, María Cecilia (ed) LXXIII. Martínez Callejas, Sindy (ed) LXXIV. Restrepo Isaza, Adriana (ed) LXXV. Soto Vargas, Carolina (ed) LXXVI. Ochoa Quintero, Jose Manuel (ed) LXXVII. Gallego Sepúlveda, Luis Miguel (ed) LXXVIII. Villegas, Felipe (fot) LXXVIII. Bernal, John (fot) LXXIX. Sánchez, Paola (fot) LXXX. Martínez, Sindy (fot) LXXXI. Ríos, Álvaro (fot) LXXXII. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

CDD: 333.95861 Ed. 23

Número de contribución: 656

Registro en el catálogo Humboldt: 15094

# contenido

5	PRÓLOGO	193	CAPÍTULO 7 <b>Indicadores y escenarios para el monitoreo de la biodiversidad</b>
7	PREFACIO	215	CAPÍTULO 7-ANEXO <b>Material suplementario</b>
17	CAPÍTULO 1 <b>El ciclo de monitoreo como herramienta para evaluar la biodiversidad</b>	231	CAPÍTULO 8 <b>Visualización e interpretación de resultados del monitoreo y evaluación de biodiversidad</b>
37	CAPÍTULO 2 <b>Contextualización del territorio: preguntas base del monitoreo</b>	219	CAPÍTULO 9 <b>Gestión de datos e información</b>
63	CAPÍTULO 3 <b>Construcción de la estrategia de monitoreo</b>	273	CAPÍTULO 10 <b>La estrategia de comunicación: una aliada del monitoreo de biodiversidad</b>
89	CAPÍTULO 4 <b>Diseño de muestreo para monitorear y evaluar biodiversidad</b>	295	CAPÍTULO 11 <b>Sostenibilidad en los procesos de monitoreo de biodiversidad</b>
109	CAPÍTULO 5 <b>Recolección de datos para el monitoreo de biodiversidad</b>	313	CAPÍTULO 12 <b>Planeación, seguimiento y evaluación De proyectos de monitoreo</b>
125	CAPÍTULO 5-ANEXO <b>Técnicas de muestreo para la recolección de datos de monitoreo de biodiversidad</b>	331	CAPÍTULO 13 <b>Reflexiones finales sobre monitoreo de biodiversidad en Colombia</b>
171	CAPÍTULO 6 <b>Ánalysis y modelamiento de datos para obtener respuestas con el monitoreo</b>		

---

# Prólogo

Al ser un país megadiverso, Colombia enfrenta el gran reto de lograr una gestión efectiva de la biodiversidad en medio de territorios con alta singularidad ecológica, elevada complejidad social y cultural, y distintas dinámicas frente a factores de transformación movidos por economías locales de subsistencia, industriales e incluso ilícitas. Esta Colombia compleja requiere una base de conocimiento sólida para que todos los actores asuman su compromiso y responsabilidad en el mantenimiento de la salud territorial.

El Instituto Humboldt es una organización enfocada en conectar el valor del conocimiento científico con las discusiones más relevantes del país sobre la gestión de la biodiversidad en Colombia. En el año 2004, el Instituto público el *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*, el cual se convirtió en un referente metodológico en el país para la caracterización de la biodiversidad. Este tipo de publicaciones refleja el interés institucional por el desarrollo de herramientas metodológicas que permitan describir no solo la biodiversidad, sino también los procesos que determinan sus cambios, ya sean factores de transformación o respuestas a acciones de manejo y conservación.

En el 2024, el Instituto lanza esta nueva publicación; un marco conceptual y metodológico para el monitoreo de la biodiversidad, aplicable a cualquiera de sus componentes y a diferentes escalas territoriales. Este documento parte del pensamiento científico, pero está orientado a la generación de conocimientos que permitan evaluar los procesos ecológicos a largo plazo, así como los impactos de las acciones que se están promoviendo para la conservación o recuperación de la biodiversidad en las diferentes geografías del país.

Esta es una invitación para que múltiples actores se sumen a los esfuerzos sistemáticos, basados en diseños robustos, para la generación de series temporales de datos de biodiversidad. Esperamos, además, que esta información sea la base para una discusión social y una toma de decisiones informada.

**Hernando García Martínez**

Director general  
Instituto Humboldt



# Prefacio

Este libro nace con dos hechos clave que han marcado el avance de las estrategias de monitoreo de la biodiversidad diseñadas e implementadas por el Instituto Humboldt en los últimos años. Por un lado, desde 2017 hemos consolidado un marco metodológico que ha servido para el diseño, implementación y evaluación de estrategias de monitoreo en diferentes regiones del país, entendiendo el monitoreo como “una observación continua de un parámetro ambiental, en un lugar y durante un período de tiempo determinado, que contribuye a una mejor comprensión de los procesos y funciones ambientales” (Hart & Martínez, 2006).

Ejemplos de la aplicación de este marco incluyen: 1) la conceptualización de un sistema de monitoreo de la salud de los ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad asociada para la cuenca Magdalena-Cauca (Batista et al., 2020); 2) la implementación de una estrategia para el monitoreo científico-comunitario de la biodiversidad en el Caribe y la Orinoquia, en el marco del Proyecto Riqueza Natural (Instituto Humboldt, 2017); 3) el diseño de un plan de monitoreo de biodiversidad para bloques petroleros en el medio Putumayo (Restrepo-Isaza et al., 2021); 4) el diseño e implementación de un programa de monitoreo de biodiversidad en el marco de la contingencia ocurrida en 2018 en el pozo Lisama 158 y la consecuente ejecución del Plan de Recuperación Ambiental (Instituto Humboldt, 2018; 2021); y 5) la generación de lineamientos para el monitoreo de la biodiversidad en los páramos de Colombia (Sánchez-Clavijo et al., 2019b); entre otros (Sánchez-Clavijo et al., 2018; 2019a).

Por otro lado, es cada vez más evidente la necesidad de tener información proveniente de esquemas integrados de monitoreo de biodiversidad para la toma de decisiones en temas clave de política pública. Solo en 2019, coincidieron el riesgo de colapso de la presa de Hidroituango y el consecutivo desecamiento del río Cauca (Semana, 2019); el aumento acelerado de las tasas de deforestación en los escenarios de posconflicto (El Espectador, 2020); la amenaza inminente del fenómeno de El Niño y su efecto en la disminución de las poblaciones de chigüiros (*Hydrochoerus hydrochaeris*) en la Orinoquia (Caracol, 2019); el rescate por parte de las comunidades locales del Caribe de manatíes (*Trichechus manatus*) en playas y riberas (La FM, 2019); el permiso a la comercialización de pieles de caimán aguja (*Crocodylus acutus*) (El Colombiano, 2019); el inicio del proyecto para mejorar la navegabilidad del río Magdalena (La República, 2019); los procesos exploratorios para la evaluación de la fracturación hidráulica (*fracking*) como metodología para la extracción de petróleo en Colombia (El Heraldo, 2019); y el reinicio del debate sobre las aspersiones aéreas con glifosato (Semana Rural); por mencionar solo algunos ejemplos de temas que fueron cubiertos ampliamente por la prensa nacional e internacional. La pandemia causada por el covid-19 a partir de 2020 destacó la importancia que tiene el cuidado del medio ambiente con relación a la salud humana (MSPS, 2021), y las medidas implementadas para desacelerar su expansión permitieron evidenciar a los seres humanos como amenazas o custodios de la biodiversidad (Bates et al., 2021).

Problemas ambientales como estos se utilizan comúnmente como caballos de guerra para aumentar la polarización y, a pesar de las discusiones, debates y foros organizados en torno a ellos, la mayoría se basan en un conocimiento incompleto de los sistemas socioecológicos afectados. A pesar de vivir en un país megadiverso, nuestro conocimiento de la biodiversidad colombiana todavía es limitado, lo que hace que los argumentos basados en datos sean reemplazados por la aprobación o desaprobación de decisiones ambientales de acuerdo con la afinidad política. Lo que muchos de estos eventos tienen en común es que, si antes de su ocurrencia se hubieran implementado programas de monitoreo de la biodiversidad a largo plazo, las partes interesadas habrían podido predecir, prevenir o al menos evaluar y divulgar sus impactos con mayor precisión, así como diseñar procesos efectivos en costos para la recuperación de los ecosistemas y especies afectadas.

Además de mejorar las discusiones sobre temas ambientales emergentes, la información proveniente de esquemas de monitoreo ayuda a tomar decisiones basadas en evidencia sobre la gestión de la biodiversidad en diferentes escenarios a mediano y largo plazo; y permite que el país haga seguimiento al progreso en las metas y compromisos de conservación que ha adquirido con la firma de acuerdos ambientales internacionales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Cancillería, s.f.-a), los Objetivos de Desarrollo Sostenible (MinAmbiente, s.f.-b), el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (MinAmbiente, s.f.-a) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (Cancillería, s.f.-b), entre otros.

Esto no quiere decir que no se esté monitoreando la biodiversidad en el país. En diferentes ejercicios de recopilación, en el Instituto Humboldt hemos identificado más de 80 esquemas de monitoreo en todas las regiones de Colombia, liderados por miembros de la academia, ONG, empresas privadas y autoridades ambientales (Sánchez-Clavijo, 2017). Sin embargo, es común que la mayoría de estas iniciativas carezcan de fondos suficientes para funcionar a largo plazo y que operen en condiciones difíciles (Moussy et al., 2022). Aunque estas iniciativas producen datos útiles a escala local, tienden a tener impactos bajos en la toma de decisiones, porque no existen mecanismos claros para conectar diferentes iniciativas y asegurar que se pueda generar información oportuna a las escalas adecuadas.

Kühl et al. (2020) han sugerido que, en vez de diseñar programas nacionales “de arriba hacia abajo”, centrados en los datos e ignorando los contextos socioeconómicos que condicionan su implementación exitosa, los países pueden llegar a mejores resultados integrando de forma complementaria la gran diversidad de personas y organizaciones que ya se encuentren involucradas en actividades relacionadas con el monitoreo de biodiversidad. Afortunadamente en Colombia ya se han dado pasos importantes tanto para la promoción de una cultura de datos y ciencia abierta como para buscar la integración entre las partes interesadas en la gestión de nuestra biodiversidad (Vallejo & Gómez, 2017; Plata et al., 2020).

Dentro de estos pasos, se destaca la importancia creciente de las plataformas de ciencia participativa en la generación de registros de biodiversidad a nivel nacional. De hecho, estos proyectos se han convertido en los mayores aportantes al Sistema de Información de Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia) (Acedo-Charry et al., 2020; Pinzón-Arias et al., 2020; Semana, 2017).

Ante este panorama, este libro busca constituirse en una pieza angular de articulación entre proyectos de monitoreo de biodiversidad a todos los niveles y en todas las regiones del país. El diseño apropiado de las estrategias de monitoreo —siguiendo un proceso que defina apropiadamente las necesidades de información— y la implementación y documentación apropiada de los pasos y procesos expuestos en este libro pueden convertirse en la base para la articulación entre iniciativas y programas que, con herramientas de análisis novedosas, permitan combinar la información generada por diferentes actores y metodologías. Esta sinergia puede garantizar la complementariedad de estrategias creadas con diferentes objetivos y la interpolación espacial y temporal de los datos que generan, lo que permite el cálculo de indicadores de estado y tendencia de la biodiversidad a nivel regional y nacional. A su vez, de ese modo aumenta la incidencia de la información proveniente del monitoreo en la toma de decisiones en temas críticos para el país y, al demostrar su utilidad, se garantiza la sostenibilidad financiera de dichos proyectos.

Por lo tanto, el objetivo de este libro es proveer conceptos y herramientas útiles para que los lectores puedan diseñar, implementar o evaluar proyectos, programas, estrategias o sistemas de monitoreo y evaluación de biodiversidad. Se pretende encontrar un equilibrio entre la precisión técnica y un lenguaje amplio que esté al alcance de la gran diversidad de actores que pueden participar en estos procesos. Debido a la misionalidad del Instituto Humboldt, se enfoca principalmente en ecosistemas continentales, pero el marco metodológico es fácilmente aplicable a los ecosistemas marinos. Adicionalmente, aunque se discute que este marco serviría para el monitoreo de servicios ecosistémicos, el libro se enfoca principalmente en la biodiversidad.

El capítulo 1 es la *introducción general* al libro y al ciclo de monitoreo, y es el eje transversal del mismo, por lo que recomendamos iniciar con su lectura. Los demás capítulos siguen los pasos y procesos de este ciclo en tres grandes secciones. Los Capítulos 2 a 4 describen los tres primeros pasos del ciclo de monitoreo, los cuales conforman la *etapa de planeación*: paso 1) contextualización del territorio, paso 2) construcción de la estrategia y paso 3) diseño de muestreo. Aunque, para propósitos prácticos, se presentan como tres pasos separados y en secuencia, en la realidad, según el proyecto, se pueden ir formulando en diferente orden, de manera paralela o en un proceso iterativo que vaya y vuelva varias veces entre pasos antes de continuar. Los Capítulos 5 a 8 describen los siguientes cuatro pasos y conforman la *etapa de implementación*: paso 4) recolección de datos, paso 5) análisis y modelamiento, paso 6) indicadores y escenarios, y paso 7) interpretación y divulgación. El paso 4 siempre precederá a los siguientes,

pero, de nuevo, según especificidades de cada proceso, los pasos 5 a 7 pueden suceder en la secuencia sugerida o en secuencias diferentes, pudiendo omitirse alguno de los pasos o necesitarse de algún paso adicional. Los Capítulos 9 a 12 describen cuatro *procesos transversales* que cobran importancia a lo largo de todo el ciclo: la gestión de datos e información, la estrategia de comunicación, la sostenibilidad y continuidad, y el seguimiento y evaluación. Por último, el Capítulo 13 presenta las conclusiones del libro y entrega una serie de reflexiones finales acerca de la articulación entre monitoreo y gestión de la biodiversidad y las perspectivas a futuro en Colombia.

Aunque los lectores pueden empezar en cualquier capítulo según sus intereses, es recomendable que tengan el ciclo completo en la cabeza, ya que, aunque no participen en todos los pasos y procesos, el impacto de un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad dependerá del éxito en la implementación coordinada de cada uno de ellos entre todos sus participantes.

# Referencias

- Acevedo-Charry, O., Colón-Piñeiro, Z., Ocampo, D., Pinzón, M., & Ayerbe-Quiñones, F. (2020). Avifauna colombiana. En Moreno, L. A. y Andrade, G. I. (eds.), *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (Ficha 103). Instituto Humboldt. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap1/103/>
- Bates, A. E., Primack, R. B., Biggar, B. S., Bird, T. J., Clinton, M. E., Command, R. J., ... & Parmelee, J. R. (2021). Global Covid-19 lockdown highlights humans as both threats and custodians of the environment. *Biological Conservation*, 263, 109175. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109175>
- Batista Morales, A. M., Roa Cubillos, M. M., Sánchez Clavijo, L. M., Londoño Murcia, M. C., Soto Vargas, C., Santos Rocha, A. C., ... & Alonso González, J. C. (2020). Monitoreo de ecosistemas acuáticos. En Moreno, L. A. y Andrade, G. I. (eds.), *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (Ficha 405). Instituto Humboldt. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap4/405>
- Cancillería (s.f.-a). Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD). <https://www.cancilleria.gov.co/convenio-sobre-diversidad-biologica-cbd>
- Cancillería (s.f.-b). Desertificación. <https://www.cancilleria.gov.co/internacional/politica/ambiental/desertificacion>
- Caracol (2019). Temen mortandad de chigüiros por aumento de la sequía. Por Luis Enrique Rodríguez. [https://caracol.com.co/programa/2019/02/08/al\\_campo/1549663314\\_587811.html](https://caracol.com.co/programa/2019/02/08/al_campo/1549663314_587811.html)
- El Colombiano (2019). ¿Por qué autorizaron vender la piel del caimán aguja? 28 de enero. <https://www.elcolombiano.com/colombia/por-que-autorizaron-vender-la-piel-del-caiman-aguja-BA10108283>
- El Espectador (2020). Colombia deforestó 158.894 hectáreas en 2019. Redacción Medioambiente, 9 de julio. <https://www.elespectador.com/ambiente/colombia-deforesto-158894-hectareas-en-2019-article/>
- El Heraldo (2019). El largo camino que le queda a la entrada del fracking en Colombia. 24 de junio. Por L. Mounthon. <https://www.elheraldo.co/economia/el-largo-camino-que-le-queda-la-entrada-del-fracking-en-colombia-644180>
- Hart, J. K., & Martínez, K. (2006). Environmental sensor networks: A revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews*, 78(3-4), 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.05.001>
- Instituto Humboldt (2017). Estrategia para el monitoreo científico-comunitario de la biodiversidad adaptada para el Proyecto Riqueza Natural. Producto 1: *Propuesta metodológica del programa de monitoreo, incluyendo el monitoreo comunitario*. Instituto Humboldt.
- Instituto Humboldt (2018). *Consultoría para la estructuración del programa de restauración del área afectada por el afloramiento de crudo del pozo Lisama 158* [Documento con una propuesta del Programa de Monitoreo de Biodiversidad y de los Servicios Ecosistémicos. entregado a Ecopetrol S.A. el 22 de noviembre de 2018].
- Instituto Humboldt (2021). Documento con el programa de monitoreo de la biodiversidad que permita evaluar la efectividad de las acciones contempladas en el Plan de Recuperación Ambiental

[Entregable No. 2.1 del “Servicio especializado para la ejecución de un programa de monitoreo de biodiversidad que permita conocer a Ecopetrol S.A. los beneficios y la efectividad del Programa de Recuperación Ambiental ejecutado por Ecopetrol S.A. en el área de influencia de la contingencia del pozo Lisama 158” entregado a Ecopetrol S.A. en marzo de 2021].

Kühl, H. S., Bowler, D. E., Bösch, L., Bruelheide, H., Dauber, J., Eichenberg, D., ... & Bonn, A. (2020). Effective biodiversity monitoring needs a culture of integration. *One Earth*, 3(4), 462-474. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.010>

La FM (2019). *¡Cuatro manatíes fueron rescatados en Cesar y devueltos a su hábitat!* 18 de febrero. <https://www.lafm.com.co/medio-ambiente/cuatro-manaties-fueron-rescatados-en-cesar-y-devueltos-su-habitat>

La República (2019). Asegurar la navegabilidad por el Río Magdalena costará \$1,3 billones. Por A. C. Leal, 20 de noviembre. <https://www.larepublica.co/economia/asegurar-la-navegabilidad-por-el-rio-magdalena-costara-1-3-billones-2934722>

MinAmbiente (s.f.-a). Convenio Sobre Cambio Climático. <https://acortar.link/8cmQwZ>

MinAmbiente (s.f.-b). Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS. <https://www.minambiente.gov.co/planeacion-y-seguimiento/objetivos-de-desarrollo-sostenible-ods>

MSPS - Ministerio de Salud y Protección Social (2021). Relación de la humanidad con la naturaleza, una de las lecciones del covid-19. Boletín de Prensa No. 512, 6 de abril. <https://acortar.link/fzTeOe>

Moussy, C., Burfield, I. J., Stephenson, P. J., Newton, A. F., Butchart, S. H., Sutherland, W. J., ... & Donald, P. F. (2022). A quantitative global review of species population monitoring. *Conservation Biology*, 36(1), e13721. <https://doi.org/10.1111/cobi.13721>

Pinzón Arias, M., Ayapuca Arias, C., Herrera Varón, Y., Martínez-Callejas, S., Santo Domingo, A. F., & Soto, C. (2020). Aportes al conocimiento de la biodiversidad nacional. Cinco iniciativas de ciencia participativa. En Moreno, L. A. y Andrade, G. I. (Eds.), *Biodiversidad 2019. Estado y Tendencias de La Biodiversidad Continental de Colombia* (Ficha 105). Instituto Humboldt. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap1/105>

Plata, C., Ortiz, R., Espinosa Murillo, J. C., & Escobar, D. (2020). Datos abiertos sobre biodiversidad. En Moreno, L. A. y Andrade, G. I. (Eds.), *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (Ficha 303). Instituto Humboldt. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap3/303>

Restrepo-Isaza, A., Díaz-Pulido, A., Pinzón-Arias, M., Sánchez-Clavijo, L. M., & Valenzuela, L. (2021). Lineamientos para el monitoreo de la conectividad funcional de los bosques en paisajes intervenidos de Putumayo. En Moncada-Rasmussen, D. M., Díaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez, D., Sánchez-Clavijo, L. M., Restrepo-Isaza, A., Valenzuela, L., & Espinosa-Sanabria, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad* (pp. 116-125). ANDI, Sinchi, IAvH y WCS. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35858>

Sánchez-Clavijo, L. M. (2017). *Mapa de actores clave en la generación de VEB de distribución y abundancia* [Resultados del Plan Operativo Anual - Resolución 0069 de 2017: Producto 13.1]. Instituto Humboldt.

Sánchez-Clavijo, L. M., Díaz Pulido, A. P., Gómez Valencia, B., Batista Morales, A. M. y Roa Cubillos, M. M. (2018). *Aumento en capacidades de diseño de muestreo, gestión y análisis de datos para el*

*monitoreo de la biodiversidad* [Resultados de Plan Operativo Anual - Resolución 0130 de 2018: Producto 14.2]. Instituto Humboldt.

Sánchez-Clavijo, L. M., Díaz Pulido, A. P., Gómez Valencia, B., Batista Morales, A. M., Roa Cubillos, M. M., Restrepo Isaza, A., & Ulloa, J. S. (2019a). *Ruta metodológica generada para el monitoreo de la biodiversidad en contexto de transiciones territoriales* [Resultados del Plan Operativo Anual - Resolución 0048, 0306 y 1506 de 2019: Producto 14.2]. Instituto Humboldt.

Sánchez-Clavijo, L. M., Montenegro Muñoz, S. A., & Pachón Castellanos, L. F. (2019b). *Lineamientos para el monitoreo de biodiversidad en los páramos de Colombia*. Convenio APC Colombia, Instituto Humboldt y Unión Europea.

Semana (2019). *El drama de perder un río*. Nación, 9 de febrero. <https://www.semana.com/nacion/articulo/rio-cauca-afectado-por-hidroituango-el-drama-de-perder-un-rio/600736/>

Semana (2017). *Las 10 iniciativas de ciencia participativa que contribuyen a la conservación*. Medio Ambiente, 31 de agosto. <https://www.semana.com/la-corte-constitucional-dice-que-por-ahora-no-habra-glifosato-en-colombia/1033/>

Vallejo, M. I., & Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/426>





Fotografia: John Bernal, Instituto Humboldt.

# El ciclo de monitoreo como herramienta para evaluar la biodiversidad

---

Lina M. Sánchez-Clavijo<sup>1</sup>, Bibiana Gómez Valencia<sup>1</sup>, María Cecilia Londoño Murcia<sup>1</sup>, Sindy Martínez-Callejas<sup>1</sup>, José Manuel Ochoa-Quintero<sup>1</sup>, Adriana Restrepo-<sup>1,2</sup>, Carolina Soto Vargas<sup>1</sup>, Angélica Díaz-Pulido<sup>1</sup>, Susana Rodríguez-Buriticá<sup>1</sup>, Cristian A. Cruz-Rodríguez<sup>1,2</sup>

---

<sup>1</sup> Instituto Humboldt

<sup>2</sup> Université de Montréal, Canadá.

# 1.1. Marco conceptual

Las caracterizaciones, monitoreos y evaluaciones de biodiversidad son procesos importantes para la conservación, restauración, uso sostenible y generación de conocimiento.

A pesar de su importancia, y de ser términos muy utilizados en escenarios de investigación y toma de decisiones, existen muchas ideas acerca de qué son, para qué sirven y cómo se ejecutan estos procesos. Presentamos las definiciones que se seguirán en el libro, las cuales provienen de revisiones de literatura (incluyendo pero no limitadas a Noss, 1990; Vos et al., 2000; Yoccoz et al., 2001; Hart & Martínez, 2006; Vallejo & Gómez, 2017; Lindenmayer & Likens, 2018), proyectos y discusiones llevadas a cabo en el Instituto Humboldt.

**CARACTERIZACIÓN DE BIODIVERSIDAD.** Proceso de medición estandarizada de variables que permite describir atributos y componentes de la biodiversidad en un lugar y tiempo determinados. En un país megadiverso como Colombia, las caracterizaciones de biodiversidad son fundamentales. Un ejemplo reciente son las expediciones BIO que han permitido descubrir nuevas especies, ampliar rangos de distribución y llenar vacíos de información sobre ecosistemas estratégicos (Ayala et al., 2018; Giraldo & Galeano, 2020; Minciencias, s.f.). Una caracterización no necesariamente es una línea base de monitoreo, ya que la segunda se diseña específicamente para ser el punto de referencia de comparaciones posteriores y con objetivos mucho más específicos (evaluación de impacto, seguimiento a intervenciones, etc.). De todas formas, las caracterizaciones deben responder a diseños de muestreo robustos que minimicen sesgos muestrales y optimicen los recursos disponibles, y así podrían funcionar efectivamente como líneas base para estudios posteriores. Por ejemplo, en las expediciones del proyecto Alas, cantos y colores, se replicaron muestreos de aves realizados hace más de 100 años para estudiar los impactos de la transformación y el cambio climático (Smith, 2021; Minciencias, 2029; Minciencias Canal Oficial, 2021).

**MONITOREO DE BIODIVERSIDAD.** Proceso de medición estandarizada, sistemática y repetida de variables que permite describir atributos y componentes de la biodiversidad en un mismo lugar a través del tiempo. La medición continua y robusta contribuye a un mejor entendimiento de los procesos y funciones ambientales (Hart & Martínez, 2006). Esencialmente el monitoreo permite establecer qué es esperado y qué no, dado que cualquier medida puntual se evalúa con referencia a una línea base o en el contexto de tendencias temporales, valores históricos extremos, variaciones recurrentes, estacionales o esporádicas, etc. A nivel mundial, varias plataformas de monitoreo y experimentación ecológica de largo plazo han generado enormes avances conceptuales y metodológicos. El Proyecto de Dinámicas Biológicas de Fragmentos de Bosque ha documentado los

impactos de la fragmentación de los bosques amazónicos sobre la biodiversidad desde 1979 (Bierregaard et al., 2001; ForestGeo, s.f.), la plataforma Jena monitorea agroecosistemas desde 2002 para entender las relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Jena Experiment, 2023) y los programas de monitoreo de vegetación con parcelas permanentes (ForestGEO, LTER, Dryflor, Gloria, etc.) han generado conocimiento sobre procesos ecológicos que hubiera sido imposible alcanzar con esfuerzos puntuales. Varios de estos esfuerzos surgen de redes colaborativas, ya sea con métodos estandarizados y llevados a cabo por profesionales, como la red NEON de la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos ([Web](#)), o a través de ejercicios de ciencia participativa, como el Proyecto Calendario Natural en el Reino Unido (Amano et al., 2010; [Web](#)), las cuales han ayudado a cuantificar los efectos del cambio climático en diferentes ecosistemas.

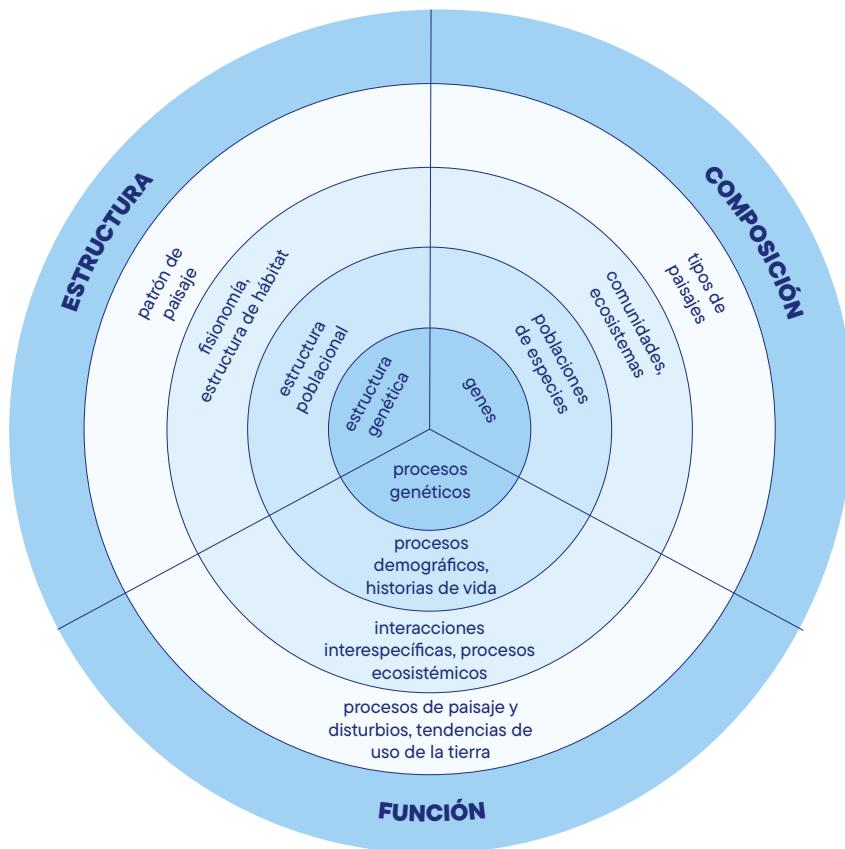
**EVALUACIÓN DE BIODIVERSIDAD.** Proceso de interpretación de las variables e indicadores producidos en la caracterización o el monitoreo, que permite valorar el estado y tendencias de atributos y componentes de la biodiversidad a la luz de un contexto socioecológico específico. Las evaluaciones de biodiversidad responden al objetivo puntual de valorar el estado y tendencias de la biodiversidad; por esto contribuyen a informar estrategias de manejo y, si incorporan la variabilidad y heterogeneidad natural de los ecosistemas, permiten ajustar acciones a medida que se analiza la información recolectada. Por ejemplo, el método de los libros rojos (RedList, s.f.) no solo estima tendencias poblacionales de las especies, sino que evalúa su riesgo de extinción y sugiere medidas de control junto con reevaluaciones para medir su efectividad (Butchart et al., 2005; Rodrigues et al., 2006; Cazalis et al., 2022). Idealmente, cualquier intervención o estrategia de manejo debe implementar un plan de evaluación que, apoyado en un programa de monitoreo, permita valorar la efectividad de acciones específicas; por ejemplo, en áreas protegidas o proyectos de restauración (Hockings, 2003; Danielsen et al., 2005; Hurtado et al., 2013; Aguilar & Ramírez, 2015). En este contexto, la definición de evaluación coincide con la palabra *assessment* y no debe confundirse con el uso que se le da en el contexto del seguimiento a proyectos, donde su significado se alinea más con *evaluation* y la búsqueda de calificar la eficiencia en la ejecución y gestión de un proyecto.

Las variables son características cuantificables que cambian temporal o espacialmente, mientras que los indicadores son medidas que pueden estar compuestas por una o más variables y que permiten evaluar el progreso logrado en el cumplimiento de una meta. Al evaluarse en contextos socioecológicos específicos, los indicadores transmiten información más allá del valor de las variables (Londoño & Sánchez, 2022). Las variables se miden en referencia a los objetos de monitoreo, que son aquellos componentes de la biodiversidad en los que se enfoca el proceso. Un buen esquema para proponer estos objetos, variables e indicadores es cruzar diferentes niveles de organización, desde los genes hasta los paisajes, con tres atributos importantes de la biodiversidad: composición, estructura y función (Noss, 1990; Figura 1.1).

Figura 1.1.

Caracterización de atributos de biodiversidad por niveles de organización

Fuente: adaptada de Noss (1990).



Para el seguimiento de variables en el tiempo se debe partir de una caracterización del estado inicial del sistema o línea base, que sirva como referencia para contrastar trayectorias (Mihoub et al., 2017). Esta se puede generar como una caracterización independiente, tras la cual se diseña un programa de monitoreo, o constituirse como el primer evento tras la implementación del mismo. Entre más similares sean los objetivos y el diseño de muestreo utilizados en la línea base y los eventos de monitoreo más válidas serán las comparaciones de los datos recolectados. Aunque el monitoreo de la biodiversidad suele comenzar con caracterizaciones de biodiversidad, no todas las caracterizaciones son parte de procesos de monitoreo; y aunque el monitoreo se debe realizar a largo plazo, no todos los estudios que se prolongan en el tiempo permiten hacer evaluaciones de biodiversidad. La utilidad de una línea base o de mediciones repetidas para ser entendidas como monitoreo se sustenta en la comparabilidad de las mediciones; dos o más muestreos son comparables si coinciden en la lógica muestral con la que fueron concebidos (aleatorizan respecto de factores similares, muestrean con intensidades que permitan una comparación, miden atributos comparables, etc.).

Este libro se centra en procesos de monitoreo que permiten llevar a cabo evaluaciones de estado y tendencias de la biodiversidad, realizadas en contextos específicos para la gestión integral de la biodiversidad (Tabla 1.1; Caja 1.1), entendida como

el proceso por el cual “se planifican, ejecutan y evalúan las acciones para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, en un escenario social y territorial definido y en diferentes estados de conservación, con el fin de maximizar el bienestar humano a través del mantenimiento de la resiliencia de los sistemas socioecológicos a escalas nacional, regional, local y transfronteriza” (MinAmbiente, 2012).

		¿Se generan indicadores con un objetivo de gestión integral de la biodiversidad?	
		NO	SÍ
¿La medición de variables se va a repetir en el tiempo?	NO	Caracterización de biodiversidad.	Evaluación de estado de biodiversidad.
	SÍ	Monitoreo de biodiversidad.	Evaluación de estado y tendencias de biodiversidad.

Tabla 1.1.

Diferenciación entre caracterización, monitoreo y evaluación de biodiversidad.

Estos procesos de monitoreo y evaluación de biodiversidad pueden tomar diferentes nombres según su formulación como proyectos, programas, estrategias, esquemas, iniciativas, redes o sistemas; y pueden ser las actividades principales de un proceso o ser solo un componente de procesos mayores. Independientemente del nombre y alcance, estructurarlos como proyectos es un paso importante para garantizar el cumplimiento de sus objetivos, por lo cual se mencionan aspectos importantes de este enfoque en los últimos capítulos.

## 1.2. ¿Para qué monitorear y evaluar la biodiversidad?

En el contexto de pérdida acelerada de biodiversidad en el que se encuentra el planeta, se necesita más que nunca conocer el estado y las tendencias de la biodiversidad (Jones et al., 2011; Geijzendorffer et al., 2016; Navarro et al., 2017), describiendo las respuestas tanto a las presiones que la sociedad ejerce sobre los ecosistemas como a las soluciones con las que se intenta conservarlos y recuperarlos (Nielsen et al., 2009; Couvet et al., 2011; Sparks et al., 2011). En la tarea de manejo adaptativo, el monitoreo y la evaluación permiten producir conocimiento para la toma de decisiones basadas en evidencia (Westgate et al., 2013; Lindenmayer & Likens, 2018; Figura 1.2), entendiéndose que siempre están condicionados por el contexto socioecológico y el objetivo particular con que surgieron. Existen dos visiones principales sobre cuáles deben ser los objetivos que guíen el diseño, la implementación y la evaluación de estos procesos.

Figura 1.2.

Ciclo de manejo adaptativo\*

\* Demuestra de qué modo la información generada por el monitoreo se utiliza para la toma de decisiones en la gestión de biodiversidad y servicios ecosistémicos (BSE).

Fuente: adaptada de Sánchez et al. (2019).



En proyectos de investigación, el monitoreo sirve para responder preguntas sobre procesos ecológicos de mediano y largo plazo, lo cual provee información para predecir trayectorias en escenarios futuros y para evaluar los impactos de eventos inesperados sobre la biodiversidad (Magurran et al., 2010). En proyectos de gestión, el monitoreo es importante para evaluar el progreso en el cumplimiento de una meta de conservación, restauración o uso sostenible (Elzinga et al., 1998; Jones, 2011; Ibisch & Hobson, 2014). Como estas visiones no son mutuamente excluyentes, en el marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia construido por las instituciones del Sistema Nacional Ambiental (Vallejo & Gómez, 2017), se destacó el doble rol del monitoreo como herramienta para contestar preguntas o para aportar a la solución de problemas, visión que se adopta en este libro (Caja 1.1).

Uno de los retos en la construcción de proyectos de monitoreo es reconocer el compromiso (*trade-off*) entre el rigor científico del monitoreo orientado por preguntas y la complejidad necesaria en procesos de gestión con participantes diversos. El monitoreo adaptativo es un proceso flexible en el que, a medida que se analizan los datos colectados, se van ajustando las metodologías para lograr costo-efectividad. Es un proceso de mejoramiento continuo que se debe aplicar con cuidado para no romper la continuidad de las series de datos y generar dificultades en su análisis (Lindenmayer & Likens, 2018). La recomendación general es que, tras identificar muy bien las necesidades de conocimiento que motivan el proceso y elaborar un modelo conceptual que sirva para orientarlo, se busque un equilibrio entre rigurosidad científica y flexibilidad en la gestión que no comprometa la calidad de los resultados (Lindenmayer & Likens, 2018). Por ejemplo, en los protocolos de muestreo de Proalas se distinguen bien los requisitos mínimos para que el muestreo sea útil de aquellos en los que puede haber cierta flexibilidad según el contexto de los participantes (Ruiz et al., 2020). Adicionalmente, es importante identificar si los recursos disponibles son pertinentes para cumplir los objetivos trazados, lo cual es esencial para que las diferentes instancias involucradas en el proceso identifiquen cuál es el tipo de proyecto que se debe y puede llevar a cabo (McDonald et al., 2010).

## Diferenciación de proyectos de caracterización, monitoreo y evaluación de biodiversidad a partir de un caso hipotético\*

Caja 11.

**CONTEXTO SOCIOECOLÓGICO.** Los humedales de páramo de un municipio se encuentran deteriorados debido al pastoreo de ganado en sus zonas de amortiguación. Hay reducción en la cobertura vegetal nativa, preocupación por las poblaciones de aves acuáticas y disminución en la calidad del agua.

**PROYECTO DE CARACTERIZACIÓN.** Se diseña un protocolo para medir cuatro grupos de variables en cinco humedales durante una salida de campo. Las variables son: el área de vegetación nativa en la zona de amortiguación de los humedales, calculada a partir de imágenes de dron; el número de individuos de cuatro especies de aves acuáticas, estimado a partir de puntos de conteo en el perímetro de los humedales; las concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes en el agua, analizadas a partir de muestras del centro del humedal; y la densidad de pastoreo en la zona, medida a través de encuestas con los pobladores. Al finalizar la recolección y el análisis de datos se reportan los valores calculados para las variables en los cinco humedales, dando una visión panorámica de las condiciones del ecosistema en ese momento.

**PROYECTO DE MONITOREO.** Se incluye el componente temporal, repitiendo las mediciones durante dos momentos del año para capturar variaciones estacionales y durante cuatro años para calcular tasas de cambio de las variables en el tiempo. Al finalizar la recolección y análisis de datos se reportan los valores calculados para las variables en los cinco humedales,

en los ocho períodos de muestreo, y se comparan los valores de la primera caracterización con los eventos siguientes, para ver si disminuyeron, se mantuvieron estables o aumentaron.

**CONTEXTO DE GESTIÓN DE BIODIVERSIDAD.** A raíz de la problemática identificada se diseña un programa de restauración para los humedales de páramo del municipio, el cual se implementará en cuatro años.

**PROYECTO DE EVALUACIÓN DE ESTADO.** A partir de literatura se definen las características de humedales de páramo bien conservados y se diseña una batería de indicadores que permita conocer el estado de los humedales en el municipio. Se caracterizan cinco humedales de la forma descrita anteriormente, pero esta vez se calculan indicadores que permiten la comparación con los valores de referencia. Por ejemplo, la variable área de vegetación nativa en la zona de amortiguación de los humedales se convierte en el porcentaje de la zona de amortiguación con cobertura de vegetación nativa, lo que permite comparar el estado de humedales de diferentes tamaños. Como resultado de esta evaluación, se decide que las medidas más urgentes son cercar el perímetro de las zonas de amortiguación para evitar el ingreso de ganado y sembrar plántulas de especies nativas en las zonas más deterioradas. Se acuerdan metas específicas respecto de los cambios cuantificables que se quiere conseguir con la implementación de estas medidas, así como el tiempo en el que se espera conseguirlos (p. ej., las áreas de amortiguación de los humedales deben estar cubiertas en 80 % o más por vegetación nativa al

↓ \* Adaptado de Londoño & Sánchez (2022).

finalizar el proyecto). Sin embargo, no se hace seguimiento del progreso hacia estas metas en el tiempo del proyecto.

**PROYECTO DE EVALUACIÓN DE ESTADO Y TENDENCIAS.** Además de realizar una primera evaluación de estado antes de la implementación de las estrategias de restauración (línea base), se continúa la medición de las variables de manera bianual durante los cuatro años de implementación del proyecto, calculando indicadores de tendencia (p. ej., cambio en el porcentaje de la zona de amortiguación con cobertura de vegetación nativa). Cada año se comparan los indicadores calculados con el progreso que se esperaría tener para cumplir la meta. Si el progreso es menor al esperado, se hacen ajustes en la estrategia de restauración y se continúa el monitoreo hasta que se cumplen las metas.

Si además de los indicadores asociados a la biodiversidad se monitorean indicadores de presión, respuesta y beneficio (Sparks et al., 2011), se genera un panorama completo de las trayectorias que siguieron los humedales durante el transcurso del proyecto se extraen lecciones posibles para la restauración de humedales de páramo en otros municipios.

Si el proyecto se diseñó de acuerdo con el doble rol de seguimiento e investigación, además de medirse el progreso en las metas de restauración, se podrían responder preguntas científicas sobre temas como factores que afectan el crecimiento de plantas nativas, efectos de la estacionalidad climática en la abundancia de aves y la relación entre la calidad del agua y la percepción que los habitantes tienen de los servicios ecosistémicos que prestan los humedales, etc.

## 1.3. El papel de la ciencia participativa

Monitorear la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en países como Colombia es un reto que no puede recaer en una sola institución o tipo de actor. Además de ser un país megadiverso y heterogéneo en biodiversidad, Colombia tiene grandes disparidades entre entidades y regiones en cuanto a los recursos disponibles para proyectos de largo plazo. En este libro se enfatiza que solo con trabajo colaborativo, en redes integradas por actores diversos y con roles diferenciados, se puede hacer sostenible el monitoreo de biodiversidad a múltiples escalas (Pocock et al., 2015; Kühl et al., 2020). Y, debido a que unos de los actores más importantes de estas redes son las comunidades locales que día a día interactúan con la biodiversidad, cada vez cobra más importancia la ciencia participativa, comunitaria o ciudadana como un componente estratégico de los procesos de monitoreo y evaluación de la biodiversidad (Theobald et al., 2015; Amano et al., 2016; Chandler et al., 2017).

La ciencia participativa se define como “el proceso de construcción de conocimiento científico en el que diversos públicos contribuyen activamente con su conocimiento, recursos o herramientas” (Soacha et al., 2017). Es un modelo de investigación que impulsa el trabajo colaborativo entre científicos y no científicos y genera insumos que contribuyen a la solución de problemas ambientales de interés público (Bonney et al., 2009). Al involucrar a las personas en todos los pasos de los procesos de investigación, la ciencia participativa juega un papel importante a la hora de conectar a todos los actores con la naturaleza y facilitar la comunicación sobre la importancia de su conservación (Geoghegan et al., 2016).

El monitoreo participativo no difiere conceptualmente del monitoreo científico de la biodiversidad, ya que el cambio se da únicamente en el tipo de actores que se involucran en cada etapa. Por lo tanto, este libro, en vez de incluir un capítulo que trate este tema de forma independiente, incorpora en cada capítulo las oportunidades y desafíos que trae involucrar actores diversos en cada etapa del monitoreo.

## 1.4. El ciclo de monitoreo

Para que el monitoreo de biodiversidad sea realmente una herramienta estratégica con la cual avanzar en las transiciones socioecológicas hacia la sostenibilidad (Andrade et al., 2018) e implementar la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012), debe: tener poder diagnóstico y estar fundamentado en conocimiento científico, permitir la construcción de una historia coherente del cambio en la biodiversidad y desarrollarse en un ciclo riguroso de diseño, ejecución y evaluación enmarcado en el manejo adaptativo (Noss, 1990; Vos et al., 2000; Yoccoz et al., 2001; Sparks et al., 2011; Lindenmayer & Likens, 2018).

El eje de este libro es el *ciclo de monitoreo* como herramienta conceptual para estructurar y documentar la planeación e implementación de estrategias de monitoreo y evaluación de biodiversidad (Figura 1.3). Este ciclo cuenta con siete pasos secuenciales y cuatro procesos transversales. El uso adecuado de esta herramienta ayudará a asegurar que los proyectos cumplan con los objetivos y funciones con que fueron formulados, independientemente del contexto socioecológico y las escalas en las que se desarrollen. El énfasis que se le dé a cada paso y proceso se deberá ajustar según el tipo de proyecto y de actores que participen en el mismo, pero el tenerlos todos en cuenta ayudará a asegurar el éxito del mismo.

A continuación, se explica brevemente cada paso y proceso transversal que hace parte del ciclo de monitoreo, cuyos detalles se pueden encontrar en los demás capítulos del libro.

Figura 1.3.

Ciclo de monitoreo\*

\* Para estructurar y documentar la planeación e implementación de estrategias de monitoreo y evaluación de biodiversidad. En publicaciones y eventos previos se han presentado versiones anteriores de este ciclo (Sánchez et al., 2018; Arce et al., 2020; Sánchez & Díaz, 2021), pero esta nueva versión recoge las lecciones aprendidas en varios proyectos y busca ser más adaptable a una gran diversidad de objetivos y contextos.



Fases

- Planeación
- Implementación

Procesos transversales

- Gestión de datos e información
- Estrategia de comunicación
- Evaluaciones periódicas
- Sostenibilidad y continuidad

## 1.4.1. Fase 1. Planeación

En esta etapa se define el objetivo y se construye la estrategia de monitoreo partiendo de lo general a lo particular, entendiendo primero el contexto socioecológico del territorio para asegurar que el diseño de muestreo responda las necesidades de información que llevaron a la formulación. Idealmente deben participar todos los actores que se espera que intervengan en etapas posteriores (Pocock et al., 2015). Esta fase es igual de importante a la implementación, ya que un proyecto de monitoreo mal planeado puede ser más difícil y costoso, y puede terminar sin responder a las necesidades que lo motivaron (Yoccoz et al., 2001; Watson & Novelly, 2009; Xu et al., 2017).

**PASO 1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL TERRITORIO.** Se contestan las preguntas: dónde y por qué se va a monitorear la biodiversidad. Para responderlas se requiere entender el contexto socioecológico donde se va a desarrollar el proyecto e identificar las causas que han llevado a las problemáticas e intereses que justifican el monitoreo. Para esto se recolecta información primaria y secundaria sobre el territorio, sus habitantes, su ordenamiento, antecedentes de investigación y contexto social, político y cultural. Asimismo, se identifican necesidades y vacíos de información, se definen los resultados que diferentes públicos objetivo esperan del proceso y se inicia el empoderamiento de actores para los procesos participativos (Capítulo 2).

**PASO 2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRATEGIA.** Se contestan las preguntas: para qué se va a monitorear la biodiversidad, qué se va a monitorear y quiénes van a monitorearlo. Responderlas implica definir el objetivo o propósito del proyecto y cómo se va a usar la información que se genere. La construcción participativa de un modelo conceptual de las relaciones socioecológicas en el área de interés permite elegir los objetos de monitoreo, las variables e indicadores de estado y tendencia de la biodiversidad a los que se les hará seguimiento, y los mecanismos para el involucramiento diferencial de actores al proceso (Capítulo 3).

**PASO 3. DISEÑO DE MUESTREO.** Las preguntas orientadoras son: dónde, cuándo y cómo se va a hacer el monitoreo. Los esquemas de muestreo que las responden combinan principios básicos de diseño experimental (p. ej., replicación, aleatorización e independencia), información ecológica sobre los objetos de monitoreo (p. ej., sensibilidad a la heterogeneidad espacio-temporal o técnicas de muestreo), evaluaciones de los retos logísticos (p. ej., tiempos de desplazamiento y permisos de acceso) y análisis de costo-efectividad de diferentes alternativas. Este paso provee la hoja de ruta para la fase de implementación, así como información relevante para ajustar los objetivos y expectativas del proyecto (Capítulo 4).

## 1.4.2 Fase 2. Implementación

Esta etapa inicia con la recolección de datos y metadatos correspondientes a las variables y objetos seleccionados. Tras su revisión y organización, se les da valor agregado al convertirlos en información mediante los procesos de análisis y modelamiento, así como el cálculo de indicadores y predicción de escenarios. Esta información se convierte en conocimiento a través de su interpretación y divulgación (Andrade & Londoño, 2016; Honrado et al., 2016). Usualmente, la implementación involucra hacer cambios a lo proyectado en la etapa de planeación, pero lo más importante es que estos sigan permitiendo alcanzar los objetivos planteados.

**PASO 4. RECOLECCIÓN DE DATOS.** Se aterriza el diseño de muestreo, ajustando las expectativas a la realidad. Se implementan las técnicas de muestreo y

los protocolos de campo más apropiados según recomendaciones de expertos, criterios éticos para el manejo de vida silvestre y el trabajo con personas y el diseño y los formatos definidos anteriormente para la colecta de datos y metadatos, y se documentan todos los mecanismos de control de calidad aplicados. Ya que cada vez existen más opciones para la recolección de datos de biodiversidad, el capítulo presenta una caja de herramientas para ayudar a los lectores a elegir las más apropiadas para cada caso (Capítulo 5).

**PASO 5. ANÁLISIS Y MODELAMIENTO.** Se evalúa la calidad de los datos recolectados, se ajusta el plan de análisis generado durante el diseño de muestreo según los cambios e imprevistos que hayan surgido durante la recolección, y se implementan procesos de análisis y modelamiento que respondan tanto al objetivo del proyecto de monitoreo como a las mejores técnicas disponibles para el tipo de datos recolectados. Los métodos de análisis se deberán describir de forma que puedan ser replicados en el futuro por otros actores y preferiblemente se deberán compartir en repositorios abiertos al público (Capítulo 6).

**PASO 6. INDICADORES Y ESCENARIOS.** Tras una o varias vueltas al ciclo de monitoreo, ya que para estimar tendencias se necesitan repeticiones sistemáticas de la recolección de datos, se calculan indicadores que responden a la construcción de la estrategia de monitoreo. En contextos de investigación, estos indicadores permiten conocer el estado y las tendencias de la biodiversidad, mientras que en contextos de gestión, permiten evaluar de manera cuantitativa el progreso hacia las metas del proyecto. Este proceso implica sintetizar información de múltiples fuentes y puede incluir la realización de análisis prospectivos para la evaluación de escenarios futuros (Capítulo 7).

**PASO 7. INTERPRETACIÓN Y DIVULGACIÓN.** El último paso del ciclo implica recoger los resultados de los dos pasos anteriores e interpretarlos a la luz del contexto socioecológico del proyecto. Los resultados deben visualizarse y transmitirse de forma intuitiva y útil para la toma de decisiones, permitiendo que diferentes audiencias entiendan cómo son pertinentes respecto a las necesidades de información identificadas en la fase de planeación. Se debe ser transparente en cuanto a la calidad de los datos recolectados, los métodos de análisis utilizados, el alcance real de la información producida, sus limitaciones, sensibilidad e incertidumbre (Capítulo 8).

### 1.4.3. Procesos transversales

Se identifican cuatro procesos que atraviesan los siete pasos del ciclo de monitoreo. Aunque es común que partes de estos procesos se lleven a cabo dentro de los pasos, no hacerlo de forma organizada y sistemática puede llevar al fracaso

del programa de monitoreo. Al formular estos procesos transversales de manera explícita, se busca asegurar que se desarrollen estrategias para su implementación, lo cual es clave para alcanzar los objetivos de los proyectos de monitoreo y evaluación de la biodiversidad (Tabla 1.2).

**GESTIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN.** Debe existir una documentación detallada de los procesos asociados al ciclo de los datos dentro del ciclo de monitoreo y haber transparencia y eficiencia en los flujos de datos, información y conocimiento entre pasos y participantes. A medida que se diseña la estrategia de monitoreo, también se definen los estándares y formatos para la recolección, transcripción, revisión, almacenamiento, curaduría y transmisión de datos y metadatos; los planes para su análisis, publicación y divulgación; y los mecanismos para mantener su integridad a largo plazo, aun cuando se realicen ajustes en un marco de monitoreo adaptativo que, por supuesto, también deben ser ampliamente documentados (Capítulo 9).

**ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.** Se diseña e implementa como elemento transversal para respaldar el desarrollo del monitoreo, con lineamientos que permitan que todos los involucrados asuman el proceso como suyo. Ello incluye la identificación de públicos, la conceptualización de mensajes, y la definición de formatos, canales y lenguajes. La comunicación juega un papel vital como herramienta que trasciende la simple puesta en circulación de mensajes o la habitual socialización de resultados al final de la ejecución de un proyecto; es un proceso clave tanto para facilitar diálogos entre diferentes actores, como para contribuir en el proceso de comprensión del ciclo de monitoreo y sus resultados (Capítulo 10).

**SOSTENIBILIDAD Y CONTINUIDAD.** Aunque solo mediante repeticiones comparables de los pasos del ciclo se puede garantizar la evaluación de tendencias de biodiversidad, el mayor reto de los procesos de monitoreo es mantenerlos el tiempo suficiente para documentar cambios temporales en variables, evaluar el cumplimiento de objetivos y metas de gestión, contestar preguntas de forma robusta, generar nuevas hipótesis y responder a contingencias o eventos inesperados. Por lo tanto, los proyectos deben generar una memoria resistente a cambios en personal o instituciones a cargo, y formular desde el principio una estrategia de sostenibilidad (Capítulo 11).

**SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN.** A lo largo del ciclo se hace seguimiento al proyecto para conocer si está satisfaciendo las necesidades a partir de las cuales fue propuesto y qué tan costo-efectiva ha sido la estrategia, y se hacen ajustes para su mejoramiento continuo. En este proceso deben participar todos los actores involucrados en el proyecto y, por lo tanto, deben existir recursos y lineamientos para llevar a cabo estas evaluaciones desde el inicio. De ser necesario hacer ajustes, se deben reportar y justificar, teniendo en cuenta que hay que garantizar la integridad de las series de datos a largo plazo (Capítulo 12).

**Tabla 1.2.**

Relación entre procesos transversales y pasos del ciclo de monitoreo\*

\*Entre paréntesis el capítulo en el que se describe cada uno.

Fase	Paso	Procesos transversales				
		Gestión de datos e información (C9)	Estrategia de comunicación (C10)	Sostenibilidad y continuidad (C11)	Seguimiento y evaluación (C12)	
Planeación	1. Contextualización del territorio (C2)	Organizar información socioecológica primaria y secundaria.				
	2. Construcción de la estrategia (C3)		Generar estrategia para ingreso al territorio, seleccionar públicos objetivo, articular e incluir actores relevantes para la formulación participativa del programa de monitoreo.	Generar estrategias de sostenibilidad que incluyan aspectos financieros, sociales, ambientales e institucionales.	Diseñar indicadores de gestión y cumplimiento, así como lineamientos para la realización de evaluaciones periódicas del proyecto.	
Implementación	3. Diseño de muestreo (C4)	Diseñar la estrategia de gestión de datos e información.				
	4. Recolección de datos (C5)	Implementar protocolos para asegurar calidad de datos y metadatos.				
	5. Análisis y modelamiento (C6)	Revisar datos crudos, estructurarlos para los análisis, comenzar gestión de información.	Generar espacios de intercambio para compartir avances y resolver inquietudes, construir mensajes clave según priorización de públicos objetivo.	Implementar estrategias que permitan la continuidad del programa de monitoreo hasta el cumplimiento de los objetivos con los que fue formulado.	Realizar evaluaciones periódicas del proyecto y ajustes para su mejoramiento continuo, en un marco de monitoreo adaptativo que no amenace la integridad de las series de datos a largo plazo.	
7. Interpretación y divulgación (C8)	6. Indicadores y escenarios (C7)	Organizar, publicar y almacenar datos crudos, flujos de trabajo e información requerida para interpretar resultados.	Comunicar mensajes asociados a resultados parciales o totales con un enfoque diferencial que facilite su interpretación y uso en procesos de toma de decisiones.			

# Referencias

- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (Eds.). (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9281>
- Amano, T., Smithers, R. J., Sparks, T. H., & Sutherland, W. J. (2010). A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1693), 2451-2457. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0291>
- Amano, T., Lamming, J. D., & Sutherland, W. J. (2016). Spatial gaps in global biodiversity information and the role of citizen science. *Bioscience*, 66(5), 393-400. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw022>
- Andrade, G. I. & Londoño, M. C. (2016). Cadena de valor en la generación del conocimiento para la gestión de la biodiversidad. *Biodiversidad en la Práctica*, 1(1), 1-20. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9889>
- Andrade G. I., Chaves, M. E., Corzo, G., & Tapia, C. (Eds.) (2018). *Transiciones socioecológicas hacia la sostenibilidad. Gestión de la biodiversidad en los procesos de cambio en el territorio continental colombiano. Primera aproximación*. Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35145>
- Arce-Plata, M. I., Herrera-Varón, J., Gutiérrez Montoya, C., & Londoño Murcia, M. C. (2020). *Monitoreo comunitario de la biodiversidad en Montes de María*. Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35586>
- Ayala López, L., Murcia, L. M., & Barriga, J. (2018). Expediciones científicas nacionales: Colombia Bio-Colciencias. En Moreno, L. A., Rueda, C. y Andrade, G. I. (Eds.), *Biodiversidad 2017. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (Ficha 104). Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/34619>
- Bierregaard, R. O., Gascon, C., Lovejoy, T. E., & Mesquita, R. (Eds.). (2001). *Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest*. Yale University Press.
- Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977-984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- Butchart, S. H., Stattersfield, A. J., Baillie, J., Bennun, L. A., Stuart, S. N., Akçakaya, H. R., ... & Mace, G. M. (2005). Using Red List Indices to measure progress towards the 2010 target and beyond. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 255-268. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1583>
- Cazalis, V., Di Marco, M., Butchart, S. H., Akçakaya, H. R., González-Suárez, M., Meyer, C., ... & Santini, L. (2022). Bridging the research-implementation gap in IUCN Red List assessments. *Trends in Ecology & Evolution*, 37(4), 359-370. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.12.002>
- Chandler, M., See, L., Copas, K., Bonde, A. M., López, B. C., Danielsen, F., ... & Turak, E. (2017). Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation*, 213, Part B, 280-294. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004>

- Couvet, D., Devictor, V., Jiguet, F., & Julliard, R. (2011). Scientific contributions of extensive biodiversity monitoring. *Comptes Rendus Biologies*, 334(5-6), 370-377. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2011.02.007>
- Danielsen, F., Jensen, A. E., Alviola, P. A., Balete, D. S., Mendoza, M., Tagtag, A., ... & Enghoff, M. (2005). Does monitoring matter? A quantitative assessment of management decisions from locally-based monitoring of protected areas. *Biodiversity & Conservation*, 14(11), 2633-2652. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-8392-z>
- Elzinga, C. L., & Salzer, D. W. (1998). *Measuring & monitoring plant populations*. US Department of the Interior, Bureau of Land Management.
- ForestGeo (s.f.). Biological Dynamics of Forest Fragments Project (BDFFP). Overview. <https://forest-geo.si.edu/research-programs/affiliated-programs/biological-dynamics-forest-fragments-project-bdffp>
- Geijzendorffer, I. R., Regan, E. C., Pereira, H. M., Brotons, L., Brummitt, N., Gavish, Y., ... & Walters, M. (2016). Bridging the gap between biodiversity data and policy reporting needs: An essential biodiversity variables perspective. *Journal of Applied Ecology*, 53(5), 1341-1350. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12417>
- Geoghegan, H., Dyke, A., Pateman, R., West, S., & Everett, G. (2016). *Understanding motivations for citizen science*. [Final report on behalf of UKEOF, University of Reading, Stockholm Environment Institute (University of York) and University of the West of England].
- Giraldo, L., & Galeano, S. P. (Eds.) (2020). *Expediciones Boyacá Bio. Resultados, retos y oportunidades*. Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35577>
- Hart, J. K., & Martínez, K. (2006). Environmental sensor networks: A revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews*, 78(3-4), 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.05.001>
- Hockings, M. (2003). Systems for assessing the effectiveness of management in protected areas. *BioScience*, 53(9), 823-832. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0823:SFATEO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0823:SFATEO]2.0.CO;2)
- Honrado, J. P., Pereira, H. M., & Guisan, A. (2016). Fostering integration between biodiversity monitoring and modelling. *Journal of Applied Ecology*, 53(5), 1299-1304. <https://www.jstor.org/stable/44133883>
- Hurtado Guerra, A., Santamaría, M., & Matallana-Tobón, C. L. (2013). *Plan de investigación y monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap)*. Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32561>
- Ibisch, P. L., & Hobson, P. R. (Eds.) (2014). *Marisco. Adaptive management of vulnerability and risk at conservation sites. A guidebook for risk-robust, adaptive and ecosystem-based conservation of biodiversity*. Centre for Econics and Ecosystem Management.
- Jena Experiment. (2023). Publications. <http://the-jena-experiment.de/index.php/publications>
- Jones, J. P. (2011). Monitoring species abundance and distribution at the landscape scale. *Journal of Applied Ecology*, 48(1), 9-13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01917.x>
- Jones, J. P., Collen, B. E. N., Atkinson, G., Baxter, P. W., Bubb, P., Illian, J. B., ... & Milner-Gulland, E. J. (2011). The why, what, and how of global biodiversity indicators beyond the 2010 target. *Conservation Biology*, 25(3), 450-457. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01605.x>
- Kühl, H. S., Bowler, D. E., Bösch, L., Bruelheide, H., Dauber, J., Eichenberg, D., ... & Bonn, A. (2020). Effective biodiversity monitoring needs a culture of integration. *One Earth*, 3(4), 462-474. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.010>

- Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2018). *Effective ecological monitoring*. 2 ed. CSIRO.
- Londoño, M. C., & Sánchez-Clavijo, L. M. (2022). Lineamientos para la selección de objetivos, metas e indicadores para el monitoreo en procesos de restauración del páramo andino. En Aguilar-Garavito, M. y Ramírez Hernández, W. (Eds.), *Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo andino* (pp. 55-63). Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35916>
- MinAmbiente - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32546>
- Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S. T., Dick, J. M., Elston, D. A., Scott, E. M., ... & Watt, A. D. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(10), 574-582. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.06.016>
- McDonald-Madden, E., Baxter, P. W., Fuller, R. A., Martin, T. G., Game, E. T., Montambault, J., & Pos-singham, H. P. (2010). Monitoring does not always count. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(10), 547-550. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.002>
- Mihoub, J. B., Henle, K., Titeux, N., Brotons, L., Brummitt, N. A., & Schmeller, D. S. (2017). Setting temporal baselines for biodiversity: the limits of available monitoring data for capturing the full impact of anthropogenic pressures. *Scientific Reports*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/srep41591>
- MinCiencias (s.f.) Colombia Bio. Pazy Territorio. ¿Qué hacemos? <https://minciencias.gov.co/portafolio/colombia-bio/quienes-somos>
- MinCiencias (2029). Expediciones BIO: Alas, cantos y colores. La historia de la avifauna se renueva un siglo después. 27 de octubre. [https://www.minciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/expediciones-bio-alas-cantos-y-colores-la-historia-la-avifauna-se-renueva-un-siglo](https://www.minciencias.gov.co/sala_de_prensa/expediciones-bio-alas-cantos-y-colores-la-historia-la-avifauna-se-renueva-un-siglo)
- Minciencias Canal Oficial (2021). Documental 'El país de las aves' [Canal YouTube], 8 de septiembre. <https://www.youtube.com/watch?v=ipFPaY-kJSc>
- Navarro, L. M., Fernández, N., Guerra, C., Guralnick, R., Kissling, W. D., Londoño, M. C., ... & Pereira, H. M. (2017). Monitoring biodiversity change through effective global coordination. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 29, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.005>
- Nielsen, S. E., Haughland, D. L., Bayne, E., & Schieck, J. (2009). Capacity of large-scale, long-term biodiversity monitoring programmes to detect trends in species prevalence. *Biodiversity and Conservation*, 18(11), 2961-2978. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9619-1>
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- Pocock, M. J., Newson, S. E., Henderson, I. G., Peyton, J., Sutherland, W. J., Noble, D. G., ... & Roy, D. B. (2015). Developing and enhancing biodiversity monitoring programmes: a collaborative assessment of priorities. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 686-695. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12423>
- RedList (s.f.). More than 42,100 species are threatened with extinction. <https://www.iucnredlist.org>
- Rodrigues, A. S., Pilgrim, J. D., Lamoreux, J. F., Hoffmann, M., & Brooks, T. M. (2006). The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(2), 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.10.010>

- Ruiz-Gutiérrez, V., Berlanga, H. A., Calderón-Parra, R., Savarino-Drago, A., Aguilar-Gómez, M. A., & Rodríguez-Contreras, V. (2020). *Manual ilustrado para el monitoreo de aves. Proalas: Programa de América Latina para las Aves Silvestres*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Iniciativa para la Conservación de las Aves de Norte América, México y Laboratorio de Ornitología de Cornell.
- Sánchez Clavijo, L. M., Díaz Pulido, A. P., Gómez Valencia, B., Batista Morales, A. M., & Roa Cubillos, M. M. (2018). *Resultados Plan Operativo Anual - Resolución 0130 de 2018: Producto 14.2. Aumento en capacidades de diseño de muestreo, gestión y análisis de datos para el monitoreo de la biodiversidad*. Instituto Humboldt.
- Sánchez Clavijo, L. M., Díaz Pulido, A.P., Gómez Valencia, B., Batista Morales, A. M., Roa Cubillos, M. M., Restrepo Isaza, A., & Ulloa, J. S. (2019). *Resultados Plan Operativo Anual - Resolución 0048, 0306 y 1506 de 2019: Producto 14.2. Ruta metodológica generada para el monitoreo de la biodiversidad en contexto de transiciones territoriales*. Instituto Humboldt.
- Sánchez-Clavijo, L. M., & Díaz-Pulido, A. (2021). Lineamientos para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. En Moncada-Rasmussen, D. M., Díaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez, D., Sánchez-Clavijo, L. M., Velásquez, A., Valenzuela, L., & Espinosa, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: Contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad* (pp. 14-21). ANDI, Sinchi, IAvH y WCS. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35858>
- Smith, J. E. (2021). Colombia busca su tesoro de aves en los restos de un viejo bosque del Caquetá. *New York Times*. <https://www.nytimes.com/es/2021/08/31/espanol/colombia-aves.html>
- Soacha, K., Oviedo, L. H., Osejo, A., Martínez, S., & Soto, C. (2017). *Marco conceptual: Ciencia participativa: participación pública en la investigación de la biodiversidad*. Instituto Humboldt.
- Sparks, T. H., Butchart, S. H., Balmford, A., Bennun, L., Stanwell-Smith, D., Walpole, M., ... & Green, R. E. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Oryx*, 45(3), 411-419. [doi:10.1017/S003060531100024X](https://doi.org/10.1017/S003060531100024X)
- Theobald, E. J., Ettinger, A. K., Burgess, H. K., DeBey, L. B., Schmidt, N. R., Froehlich, H. E., ... & Parrish, J. K. (2015). Global change and local solutions: Tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. *Biological Conservation*, 181, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.021>
- Vallejo, M. I., & Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/426>
- Vos, P., Meelis, E., & Ter Keurs, W. J. (2000). A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61(3), 317-344. <https://doi.org/10.1023/A:1006139412372>
- Watson, I. A. N., & Novelly, P. (2009). Making the biodiversity monitoring system sustainable: design issues for large-scale monitoring systems. *Austral Ecology*, 29(1), 16-30. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01350.x>
- Westgate, M. J., Likens, G. E., & Lindenmayer, D. B. (2013). Adaptive management of biological systems: A review. *Biological Conservation*, 158, 128-139. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.08.016>

Xu, H., Cao, M., Wu, Y., Cai, L., Cao, Y., Ding, H., ... & Li, J. (2017). Optimized monitoring sites for detection of biodiversity trends in China. *Biodiversity and Conservation*, 26(8), 1959-1971. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1339-3>

Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulanger, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), 446-453. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02205-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02205-4)



Fotografía: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Contextualización del territorio: preguntas base del monitoreo

---

Sindy Martínez-Callejas<sup>1</sup>, Marjorie Pinzón Arias<sup>1,2</sup>, Ana M. Roldán-Ortiz<sup>1</sup>, Sergio E. Rojas-Sánchez<sup>1</sup>,  
Luis F. Urbina-González<sup>1</sup>, Adriana Restrepo-Í<sup>1</sup>, Juan Carlos Rey Velasco<sup>1</sup>, Diego Randolph Pérez  
Rincón<sup>1</sup>, Andrés Felipe Santo Domingo J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Humboldt

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia

## 2.1. Introducción

Una vez comprendido el marco conceptual del monitoreo, es necesario saber si esta es la herramienta adecuada para investigar el fenómeno, organismo o ecosistema que se quiere estudiar. Asimismo, es importante reconocer que definir el objeto de monitoreo, decidir qué variables de este se tendrán en cuenta y conocer su ocurrencia en tiempo y en espacio requiere de una comprensión profunda e integral del lugar o contexto donde se espera llevar a cabo el proyecto (Delgado et al., 2019; Hurtado, 2000). No hacerlo puede generar tropiezos en el proceso de monitoreo.

Por ejemplo, se pueden encontrar escenarios socioecológicos complejos, que el objeto de monitoreo ya esté siendo estudiado, que la financiación no alcance para cubrir el área que se propuso estudiar o que la pregunta formulada deba ser ajustada. Por ello, es importante dimensionar y ubicar la estrategia de monitoreo y evaluación de biodiversidad en un contexto socioecológico que incluye dimensiones geográficas, socioambientales y biológicas. De acuerdo con Hurtado (2010), Moreno (2009) y Sampieri et al. (2010), es imprescindible plantearse: *si la pregunta que quiero resolver se puede contestar a través del monitoreo; por qué monitorear; y cuál es la situación socioambiental y distribución geográfica en la que los hechos o fenómenos cobran sentido.*

Partiendo de estos cuestionamientos, que no son sucesivos sino interdependientes, a medida que las preguntas se vayan resolviendo será cada vez más evidente entender por qué el monitoreo es la herramienta adecuada para responder la pregunta de investigación o necesidad de información que se tiene. Estos cuestionamientos se incluyen en el ciclo de monitoreo como el paso 1: “Contextualización del territorio”.

Es importante recordar que no todas las estrategias de monitoreo son diseñadas de la misma manera. Algunas veces se puede contar con la pregunta de investigación, los objetos de monitoreo y los lugares definidos, y otras veces será necesario comenzar de cero. Por ello este capítulo se enfoca en describir herramientas útiles para contextualizar el territorio en las dimensiones geográficas, socioambientales y biológicas, para que, una vez realizado este paso, se pueda proceder a construir y diseñar una estrategia de monitoreo aterrizada en su contexto socioecológico (Capítulo 3).

## 2.2. Justificación de la estrategia de monitoreo. ¿Por qué monitorear?

Desde hace varios años, múltiples plataformas intergubernamentales se han fijado el objetivo de detener la pérdida de biodiversidad a diferentes escalas. Este objetivo sugiere un gran esfuerzo a nivel global y para lograrlo se requieren datos e información sobre especies y ecosistemas enmarcados en distintos modelos de desarrollo.

Monitorear y evaluar el estado y tendencias de la biodiversidad es una tarea retadora, que no solo contribuye a movilizar conocimiento, sino que permite identificar los principales focos y motores de pérdida y, así, favorecer la toma de decisiones que promuevan una mejor gestión de la biodiversidad (Balmford et al., 2003). Sin embargo, no es el único tipo de proceso que puede ser usado en estos contextos. Por ello se recomienda evaluar si el estudio que se espera desarrollar realmente requiere del seguimiento sistemático de variables en el tiempo para el cálculo de tendencias y si se espera usar estas para medir el progreso de diferentes acciones hacia alguna meta definida previamente (Capítulo 1; Werner & Gallo-Orsi, 2018). Teniendo en cuenta esto, se sugiere:

- » Analizar qué tipo de preguntas u objetivos se quieren formular. Estas deben ser claras y enfocadas, tener un alcance en un tiempo definido, poder contestarse con variables medibles y cubrir un tema o problema relevante.
- » Los ejercicios de monitoreo implican costos en términos de tiempo, dinero y recursos humanos, así que, antes de proponerse una estrategia de monitoreo, se debe contar con los recursos suficientes para llevar el ejercicio hasta el final, aunque la posibilidad de hacer esto depende del alcance geográfico y temporal del proyecto propuesto.
- » El monitoreo puede tener diferentes niveles de participación en cada una de sus etapas; por ejemplo, diferentes actores pueden participar en la formulación del objetivo, la definición de la metodología, la recolección o el análisis de datos. Este aspecto determinará los vínculos que el proceso cree o fortalezca entre sociedad y ciencia, además de promover espacios de apropiación de conocimiento en los territorios donde se lleve a cabo.
- » El monitoreo requiere de un proceso adecuado de planificación en el cual conocer el contexto territorial se convierte en un paso clave, pues permite reconocer si existen las condiciones idóneas para desarrollar el proceso. Entre estas condiciones están: el interés o aprobación de

las comunidades locales, la claridad en los niveles de participación de diferentes actores, las condiciones socioecológicas en las que se enmarca el monitoreo, las situaciones de seguridad ambiental y social, la precisión en el desarrollo de la cadena de gestión de los datos y los compromisos en la publicación y uso de la información. Tener en cuenta estas dimensiones desde el principio aumenta la probabilidad de que la información generada realmente sea útil para la toma de decisiones a nivel territorial.

Una vez se ha justificado la necesidad de emprender un proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad, se procede a entender el contexto socioecológico donde se desarrollará el proyecto desde una perspectiva general, lo cual permitirá construir la estrategia de forma detallada en los pasos siguientes (Capítulo 3 y Capítulo 4).

Las siguientes secciones presentan herramientas útiles para elaborar esta contextualización del territorio y, aunque no todos los ejercicios de monitoreo requerirán de todas las actividades descritas, evaluarlas permitirá identificar si ya se cuenta con un mínimo de conocimiento del área de estudio en términos geográficos, socioambientales y biológicos.

## 2.3. Contexto geográfico del territorio

Entender el contexto desde la perspectiva geográfica permite reconocer, identificar, cualificar y cuantificar las ventajas y desventajas que puede traer hacer el monitoreo en un territorio y no en otro. Además, permite reconocer las relaciones que existen entre las personas y sus entornos geográficos y cómo estas influyen en su ordenamiento, desarrollo y gestión.

### Datos e insumos geográficos

Antes de definir el objetivo o pregunta orientadora y de proponer un diseño metodológico de monitoreo, se deben identificar y priorizar los lugares en los que se espera implementar la estrategia. En este proceso, los datos y herramientas de análisis espacial constituyen un apoyo sustancial, dado que permiten:

- » Identificar las unidades geográficas del territorio como base para muestreos que sean representativos y comparables.

- » Conceptualizar la importancia de la diversidad de paisajes que se pueden encontrar en las diferentes escalas de análisis.
- » Identificar hipótesis y condiciones ambientales que puedan llegar a sesgar las mediciones que se espera desarrollar. No obstante, es importante señalar que esto solo se puede realizar si ya se tiene el objetivo del monitoreo claro.
- » Identificar redes colaborativas para el monitoreo, beneficiarios, entre otros elementos.
- » Identificar las ventajas y desventajas de compilar información espacial de forma participativa para temas de monitoreo (*big data* y ciencia participativa).

Teniendo en cuenta los alcances que tiene el análisis espacial en el componente geográfico, se presentan dos tipos de insumo útiles para este paso: mapas y sensores remotos, que exigen habilidades técnicas específicas para poder ser usados. Así, los *mapas* brindan información sobre los elementos que componen el espacio geográfico; los mapas básicos se enfocan en mostrar vías, relieves, centros poblados, entre otros; los mapas temáticos son elaborados para mostrar un tema específico, como cobertura boscosa, temperatura, índices de transformación, densidad poblacional, etc. En cuanto a los *sensores remotos*, estos capturan la cantidad de energía emitida o reflejada por los elementos que componen el paisaje y, a partir de ellos, se generan diferentes productos, como fotografías aéreas, imágenes satelitales y ortofotos.

En un ejercicio de monitoreo, tanto los mapas como los productos que aportan los sensores remotos son útiles, porque pueden contribuir en la definición del área de estudio, el diseño de muestreo y la consolidación y divulgación de resultados. También permiten el monitoreo directo de algunos fenómenos naturales o climáticos, pues captan datos con regularidad temporal en grandes áreas geográficas.

En Colombia, estos insumos pueden encontrarse a través del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) o el Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial nacional (SIG-OT), los cuales, a través de la adopción de la política nacional de datos abiertos, generaron un portal para la descarga de datos geográficos producidos por las diferentes entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA) (Tabla 2.1). Los recursos relacionados con coberturas que se encuentran en estos sistemas parten de una metodología estandarizada (Corine Land Cover) y son generados de forma periódica, aunque debe tenerse en cuenta el margen de error al usarlos en diferentes contextos. De igual manera, se deben tener en cuenta las diferencias de escala, si estas se presentan.

A nivel global, se recomienda revisar los productos generados por el programa Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la Nasa, o por la ESA (European Space Agency). Para datos más específicos, se recomienda recurrir a los recursos e información generada por las corporaciones autónomas regionales, las universidades o el sector privado. En temas de tipo socioeconómico, se recomienda revisar la información del Departamento Administrativo Nacional de

Estadística (DANE), el Departamento Nacional de Planeación (DNP) o la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

**Tabla 2.1.**

Insumos cartográficos producidos por el SIAC y el SIG-OT que pueden ser útiles para contextualizar el monitoreo desde la perspectiva geográfica

Tema	Subtema	Entidad responsable
Agua	Oferta, amenazas y huella hídrica.	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Iudem).
Suelo	Vulnerabilidad, temperatura y precipitación.	
Cambio climático	Amenazas por erosión, salinización y degradación, proyecciones futuras de precipitación y temperatura.	
Biodiversidad	Bosques y cambio de coberturas anuales, monitoreo de glaciares.	
	Ecosistemas nacionales y regionales, complejos de páramos, áreas prioritarias para la conservación, áreas de importancia para la conservación de aves.	Instituto Humboldt.
	Cobertura de la tierra y praderización, cambios de cobertura, estado legal del territorio y estratos de intervención antrópica en la Amazonía.	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi).
	Portafolios, prioridades y áreas de ampliación para la conservación.	Parques Nacionales Naturales de Colombia.
Licencias ambientales	Zonificación de manejo, energía, infraestructura, minería, hidrocarburos, contingencia vial.	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).
Ordenamiento territorial	Catastro, agrología, suelos y cartografía básica, conflictos de uso del suelo.	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
	Asuntos sectoriales urbanos y rurales.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA)	Registro único de ecosistemas y áreas ambientales, bosques.	

## Análisis e interpretación de datos geográficos

Para analizar e interpretar datos espaciales es importante tener en cuenta elementos como la escala, la orientación conceptual de un mapa, el tamaño del píxel (resolución) y el tipo de fenómenos que permite identificar cada región del espectro electromagnético, pues son fundamentales para hacer un buen uso de los mapas y productos de sensores remotos (Caja 2.1).

Partiendo de las consideraciones y requerimientos propios de cada proyecto, se pueden usar herramientas de apoyo cuya complejidad dependerá del nivel de conocimiento del personal involucrado. Para análisis sencillos se recomien-

da el uso de mapas o fotomapas en formato JPG (o impresos para actividades en campo), pero usando mapas o capas digitales georreferenciadas se pueden hacer análisis espaciales más profundos y orientados a las necesidades del proceso. Para esto se pueden usar software licenciados como ArcGIS, Erdas y ENVI, gratuitos como QGIS, SAGA o DivaGIS, o paquetes y aplicaciones en Python, R o Google Earth Engine. En un nivel más avanzado, se pueden usar herramientas como TimeLapse, la cual genera animaciones a partir de series temporales de imágenes Landsat, o descargarse datos a través de plataformas como Google Earth Engine, Microsoft Planetary Computer, UN Biodiversity Lab y las plataformas de la NASA y de la ESA, entre otras.

## Conflictos entre la información espacial producida por diferentes organizaciones

Es común que al usar información espacial de diferentes fuentes se generen resultados contradictorios. Estos conflictos pueden surgir de diferencias en escala, año de generación, propósito, enfoque conceptual o abordaje metodológico. En otros casos, la interpretación de productos primarios puede diferir entre investigadores o entre instituciones con diferentes capacidades u objetivos. La Figura 2.1 muestra un ejemplo de este último caso, al sobreponer las áreas prioritarias para cumplir los objetivos institucionales de dos instituciones gubernamentales: las prioridades de conservación para la declaración de nuevas áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales (Corzo & Andrade, 2011) y el potencial de producción de madera comercial de la Unidad de Planificación Agropecuaria (UPRA, 2014).

En este caso, las actividades de conservación y producción no son compatibles y, por tanto, no deberían compartir la misma ubicación espacial ni generar un conflicto de uso en 755 429 ha a nivel nacional. Este ejemplo ilustra las diferentes interpretaciones que se pueden dar aun a partir de la misma informa-

ción primaria (imágenes satelitales, aéreas, interpretación de coberturas, etc.) y escala del análisis (nacional, regional y local).

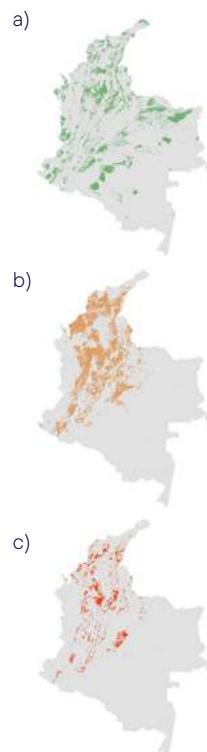


Figura 2.1.

Conflictos de uso de la tierra en tres cartografías\*

\* a) prioridades de conservación nacional (14 178 613 ha; Corzo y Andrade, 2011); b) aptitud para plantaciones forestales con fines comerciales (7 507 862 ha; UPRA, 2014); c) uso compartido incompatible de 755 429 ha (5,3 % de las áreas de conservación y 10,1 % de las áreas comerciales).

## 2.4. Contexto socioambiental del territorio

Después de contestar geográficamente dónde se espera desarrollar el monitoreo y cuál es la escala de análisis, surgen otras preguntas, como quiénes viven en este lugar, a quiénes les pertenece ese espacio o lugar, cómo está organizado y cómo se conecta el monitoreo o la pregunta con el lugar y las personas. La respuesta a estas preguntas puede confrontar al proyecto con el complejo entramado de dinámicas y relaciones sociales, ecológicas, culturales, económicas y políticas que configuran un territorio.

Aun en proyectos enfocados en biodiversidad, no se deben ignorar estas preguntas y, por el contrario, se recomienda identificar los aspectos clave que contribuyan a entender de manera integral el espacio geográfico y sus distintas territorialidades. Esto permitirá que el proceso produzca conocimiento acorde con el contexto socioecológico donde fue implementado.

Aunque la profundidad con la que se aborde esta dimensión depende del alcance del proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad, considerar los aspectos clave expuestos a continuación será útil para la vinculación de aspectos sociales, económicos y culturales en el proceso.

### 2.4.1. Territorialidades políticoadministrativas

Comprender cómo se divide y se administra el territorio donde se quiere llevar a cabo el ejercicio de monitoreo es útil para reconocer la organización política y social del territorio, quiénes lo administran y cuáles son los límites de acción y sus dinámicas de gobernanza. Colombia se subdivide en doce arreglos administrativos territoriales espaciales, los cuales cuentan con unas características específicas en términos de uso, propiedad y gobernanza. Sin embargo, estos arreglos y ordenamientos territoriales muchas veces están determinados por procesos sociales en momentos históricos particulares y pueden desconocer el papel de distintos actores del territorio (Montañez, 2016). Otras propuestas de unidades territoriales, como la construida por Barragán (1997), señalan distintas unidades territoriales que obedecen a estrategias diferenciales de apropiación y delimitación de territorios concretos en distintas escalas (Tabla 2.2).

<b>Organización territorial o arreglos administrativos territoriales y espaciales*</b>
Comunas, barrios, veredas.
Corregimientos.
Inspecciones de policía.
Regiones Administrativas de Planeación Especial (Rapes).
Entidades territoriales indígenas, territorios indígenas y resguardos indígenas.
Territorios de las comunidades afrodescendientes.
Áreas protegidas.
Zonas de reserva campesina (ZRC).
Zonas de desarrollo empresarial (ZDE).
Zonas de interés de desarrollo rural económico y social (Zidres).
Zonas francas.
Espacios territoriales de capacitación y reincorporación (ETCR).
<b>Otras unidades territoriales**</b>
Protección, restricción y exclusión.
Bienes de dominio público.
Compra de tierras.
Ordenación en profundidad.
Retirada controlada.
Recuperación de hábitat y espacios naturales o culturales.

**Tabla 2.2.**

**Dos propuestas de organización territorial de Colombia**

\* Montañez-Gómez (2016);

\*\* Barragán (1997).

Para contextualizar un ejercicio de monitoreo es clave determinar en qué tipo de unidad territorial se va a hacer la implementación y, de acuerdo con su categoría, determinar cómo desarrollar una primera entrada a territorio, reconocer qué actores se pueden encontrar allí y considerando estos dos elementos definir qué metodologías se pueden aplicar para cumplir los objetivos. Se recomienda hacer una revisión adecuada del territorio a través de documentos públicos, como planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial y planes de ordenamiento de cuencas, para comprender la forma en que se encuentra subdividido el territorio y si cuenta con áreas especiales de interés para el ejercicio de monitoreo.

## 2.4.2. Territorialidades y visiones culturales

Además de conocer la forma en que se organiza administrativamente el territorio donde se espera desarrollar el monitoreo, es necesario reconocer que existen diversos sistemas de conocimiento y percepciones territoriales, especialmente si el área de estudio tiene presencia de comunidades rurales pertenecientes a diversas etnias o culturas (p. ej., campesinos, indígenas, afrocolombianos, ROM). Se debe entender que el interés particular de desarrollar una estrategia de monitoreo de un organismo o acción es una visión más dentro de las visiones existentes en un territorio.

La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) hizo un llamado a tener en cuenta la importancia de integrar perspectivas y sistemas de conocimientos diferentes a la mirada de las ciencias de la conservación de la biodiversidad. Esta integración enriquece el conocimiento sobre la biodiversidad y sus contribuciones; genera una aproximación en la que se respeta, exalta e incluyen las visiones, perspectivas, conocimientos y prácticas de los grupos humanos que habitan el territorio; y se relaciona física y simbólicamente con estos territorios y objetos de estudio (Díaz et al., 2018). Esta integración es altamente significativa en un país como Colombia, el cual cuenta con una amplia diversidad de culturas y lenguas que reflejan distintas cosmovisiones, formas de interactuar con el entorno natural y múltiples maneras de entender la naturaleza, la sociedad y el desarrollo (Van der Hammen, 2012).

Se recomienda realizar una aproximación al territorio que identifique qué grupos étnicos y culturales están presentes en el área de estudio y sus alrededores, así como hacer un sondeo inicial de las perspectivas y significados culturales de los componentes de la biodiversidad que se quieren monitorear, ya que en una visión cultural cualquier elemento del paisaje tiene una historia y puede llegar a ser considerado un bien cultural y no solamente un componente físico o biológico (Giménez, 1996). Por ejemplo, las comunidades indígenas amazónicas consideran a algunos animales como personificaciones o gente, por lo que se establecen relaciones simbólicas, biofísicas específicas y en ocasiones complejas con estas especies o con los ecosistemas que habitan, por lo que cazarlos, recolectarlos o ingresar a sus hábitats puede ser considerado un desconocimiento de sus tradiciones y formas de conocimiento (Van der Hammen, 1992; Cabrera, 2012).

También se sugiere preguntarse qué significan para las comunidades los elementos de la biodiversidad que se van a monitorear y qué relaciones ecológicas y culturales asocian las comunidades del objeto de monitoreo. Tener en mente estas preguntas es clave desde un punto de vista ético, ya que evita conflictos con las comunidades que puedan ser contraproducentes para el desarrollo y éxito de las actividades de monitoreo, adicional a que refleja un principio de respeto y responsabilidad a la hora de acercarse a un territorio.

Por otro lado, se recomienda desarrollar ejercicios que convoquen al diálogo de saberes, los cuales permiten establecer conversaciones con condiciones de respeto y equidad desde las distintas perspectivas y respecto de diversos conocimientos y opiniones sobre el monitoreo, las especies o acciones que se espera monitorear, así como aclarar o ampliar información sobre las técnicas o procedimientos para abordarlo. Este ejercicio puede ser ejecutado como la primera entrada a territorio, puede contribuir a entender mejor el espacio en el que se va a desarrollar el monitoreo e incluso a fortalecer la pregunta de investigación u objetivo del mismo.

Por ejemplo, el Instituto Humboldt tiene una política de relacionamiento con pueblos indígenas y comunidades étnicas y locales que sirven de guía para adelantar este tipo de acercamientos y ejercicios. Este documento expone el marco normativo a tener en cuenta, plantea principios básicos para abordar el tema y propone recomendaciones y protocolos útiles para prevenir acercamientos inadecuados que puedan ocasionar problemas y conflictos en el desarrollo de la estrategia de monitoreo. Es importante recordar que los procesos de monitoreo no siempre tienen como fin exclusivo la toma de datos de un territorio o especie, sino también generar diálogos entre los resultados y el entorno o lugar donde se desarrollan, por lo que esta lectura inicial del contexto y el acercamiento a las comunidades cobra una importancia vital en el uso de la información y la creación de conocimiento.

## 2.4.3. Identificación de actores y relaciones en el territorio

Una vez identificado el territorio y los sistemas de conocimiento, reconocer los actores clave es una tarea esencial para entender las relaciones entre el territorio y el monitoreo. En principio se puede realizar un listado de personas, organizaciones, instituciones o procesos presentes que puedan estar asociadas con el monitoreo, pero identificar el tipo de relación y la influencia que estos pueden tener sobre el proyecto puede ayudar a encontrar aliados y retos, ya sea en la planeación o la implementación de la estrategia. A continuación se describen tres herramientas metodológicas útiles para conocer el entramado relacional de un territorio: el mapeo de actores, los diagramas de Venn y los gráficos históricos o árboles de problemas y soluciones.

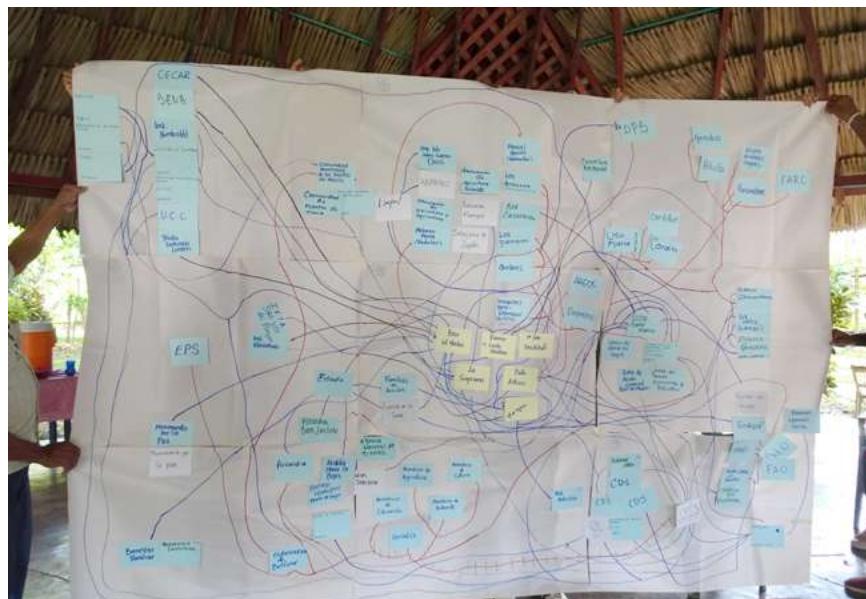
El mapeo de actores es usado a nivel mundial para identificar actores y las relaciones sociales entre estos. Esta metodología está basada en la teoría de redes sociales, la cual plantea que la realidad social puede ser observada como si estuviera organizada mediante las relaciones sociales en las que participan los diversos actores e instituciones sociales (Tapella, 2007). Un mapeo de actores permite reconocer el nivel de complejidad de relaciones en un territorio y al mismo tiempo conocer la diversidad de actores que confluyen en él, como se puede observar en la Figura 2.2.

Gutiérrez (2007) plantea que a través del mapeo de actores las relaciones sociales pueden ser pensadas mediante estructuras y en ellas se pueden identificar las formas de relación existentes entre un actor y otro, además de reconocer si son positivas o negativas. Asimismo, puede servir de ayuda visual para analizar y representar mejor las relaciones y realidades sociales territoriales, como, por ejemplo, necesidades locales y fortalezas o debilidades institucionales en las que el monitoreo podría tener incidencia. Se recomienda realizar una revisión de estudios previos que puedan contener un mapeo o la información que se espera obtener a través del mapa de actores.

Figura 2.2.

## Mapa de actores realizado con la comunidad de María la Baja, Bolívar

Fuente: Sindy Martínez,  
Instituto Humboldt.



Los diagramas de Venn también permiten organizar de manera gráfica las relaciones sociales, identificando las distancias sociales, las estructuras institucionales y organizacionales del territorio (Ellsberg & Heise, 2005), tal y como se observa en la Figura 2.3. Este ejercicio se puede realizar con las comunidades en territorio o construirse a partir de información secundaria. Se recomienda realizar un análisis comparativo del estado inicial de las relaciones y el ideal integrando la implementación de la estrategia de monitoreo.



Figura 2.3.

Diagrama de Venn elaborado con comunidades indígenas del Guainía

Fuente: Sindy Martínez, Instituto Humboldt.

Otro elemento clave para entender el territorio es reconocer los conflictos, diferencias y complejidades socioambientales que se tejen en él. Estas situaciones siempre pueden existir y son detonantes de acciones en el territorio, por lo cual es valioso identificarlas y así evitar crear tensiones, pugnas o problemas que puedan tener incidencia en los resultados del monitoreo. Se recomienda hacer una revisión y evaluación de las posibles tensiones o conflictos existentes en el territorio y pensar en si el monitoreo puede aportar a su resolución.

Los gráficos históricos o árboles de problemas y soluciones elaborados con las comunidades y los actores clave, como el que se puede observar en la Figura 2.4, dan mejor cuenta de las potencialidades, necesidades, tensiones y conflictos presentes en el territorio, su origen, tendencias y consecuencias (Geilfus, 2002). Estas herramientas también pueden promover acciones en el territorio que irían acompañadas o estarían inmersas en los ejercicios de monitoreo participativo o incluso contribuir con la formulación de la pregunta u objetivo de monitoreo.

Figura 2.4.

Gráfico histórico de caza, pesca y tala en una comunidad indígena

Fuente: Sindy Martínez, Instituto Humboldt.



Vale la pena mencionar que Colombia cuenta actualmente con un geovisor de conflictos ambientales que permite mapearlos a diferentes escalas territoriales. Este geovisor fue creado por el Observatorio de Conflictos Ambientales de la Universidad Nacional (<https://oca.unal.edu.co/>), que se ha dedicado a analizar la complejidad de los conflictos de una forma integral basados en las relaciones ecosistémicas y culturales.

## 2.4.4. Usos de la biodiversidad y medios de vida

Desde el punto de vista de los usos, es importante comprender cómo los actores identificados se relacionan de manera directa o indirecta con el objeto de monitoreo, ya que esto podría determinar si este promueve una mejor gestión y un uso más sostenible o nuevas alternativas económicas relacionadas a dichos componentes de la biodiversidad.

Las preguntas clave que se deben realizar, en caso de tener un interés sobre el uso e importancia económica de los objetos de monitoreo, pueden ser: si los objetos de monitoreo hacen parte de la economía local, si en algún momento de la historia ha existido o existe un uso activo del ecosistema o la especie, qué tipos de usos existen, qué dependencia económica tienen las comunidades locales respecto de los ecosistemas u organismos que se espera monitorear y cuáles son los usos, amenazas y oportunidades económicas de los organismos o ecosistemas priorizados.

Para la identificación de estos aspectos se recomienda la elaboración de una línea base sobre información socioeconómica del territorio, la identificación de proyectos previos relacionados con usos de la biodiversidad y el desarrollo de en-

trevistas a actores clave. Estos tres elementos pueden dar una idea más clara de cómo el territorio se relaciona a nivel productivo y cómo esto puede tener incidencia en nuestra idea de monitoreo o, por el contrario, cómo el monitoreo puede tener incidencia sobre estas dinámicas. La información histórica es muy importante para definir este valor productivo o económico, por lo que se recomienda hacer la pregunta en espacios intergeneracionales o a partir de entrevistas directas a las personas que llevan más tiempo viviendo en la comunidad o territorio (Caja 2.2).

## Flor de Inírida: conservación y comercialización en las sabanas de la Estrella Fluvial de Inírida (sitio Ramsar)

Caja 2.2.

Debido a que la pérdida de biodiversidad se ha convertido en una de las mayores preocupaciones a nivel mundial, actualmente la ciencia se ha puesto en la tarea de promover investigaciones útiles y al alcance de las personas interesadas en reducir la degradación de los ecosistemas (Jenkins, et al., 2012). Entre las prioridades a nivel nacional se encuentran frenar la deforestación y la extinción de especies (Negret et al., 2019). Las soluciones basadas en la naturaleza son iniciativas que, sin ejercer mayor presión sobre los recursos naturales, promuevan alternativas económicas para las comunidades (Walter, 2001), por ejemplo, a través del uso de productos forestales no maderables (PFNM).

Un caso en Colombia es Liwi-Flores Eternas de Inírida, quienes, preocupados por conservar la flor de Inírida (*Guacamaya superba*), han adelantado estudios desde 2002 entre los que

se incluyen el monitoreo de la especie para comprender mejor sus aspectos fenológicos y reproductivos, crear sistemas de propagación y desarrollar ejercicios de educación y conservación de *G. superba*, sus polinizadores y las sabanas inundables de arena blanca donde crece. Entre los resultados obtenidos han evidenciado que: los colibríes y abejas nativas son los polinizadores más abundantes de esta especie, y que *G. superba* es resistente al fuego en verano y ha generado un sistema de adaptación al estrés hídrico característico de su ecosistema. Respecto a los ejercicios de propagación y conservación, la iniciativa Liwi ha contribuido a la generación de cadenas productivas para el Departamento del Guainía y ha beneficiado principalmente a las comunidades indígenas de forma directa y sin alterar las dinámicas del ecosistema (Vélez & Fernández, 2021).



Figura 2.5.

Imágenes del proyecto Liwi-Flor de Inírida

Fuente: <https://www.liwiflordeinirida.com/flores-eternas>

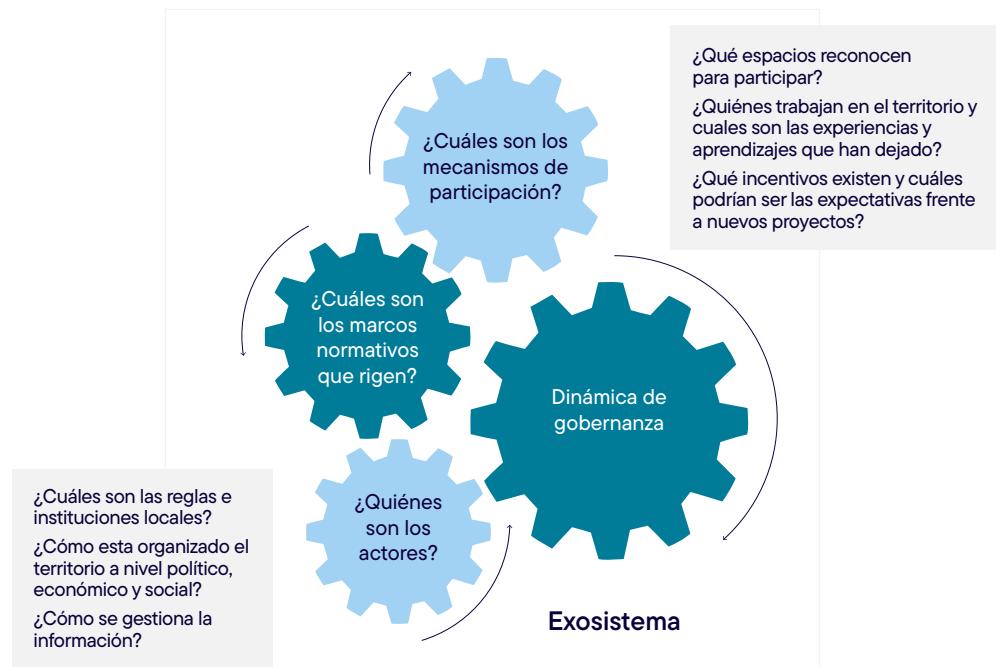
## 2.4.5. Sistemas de participación y gobernanza

La gobernanza se entiende como un conjunto de arreglos institucionales, procesos de toma de decisión, instrumentos de política y valores subyacentes al sistema mediante los cuales múltiples actores persiguen intereses de producción de alimentos, conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y seguridad de los medios de vida (Kozar et al., 2014; De Graaf et al., 2018).

Cuando se emprende un ejercicio de monitoreo y evaluación de biodiversidad, aparte de revisar quiénes se sitúan en el territorio, cómo viven y de qué viven, es imprescindible reconocer también la forma en que se organizan, participan y deciden, y entender cómo puede fortalecerse la gobernanza respecto del objeto de estudio. Es oportuno preguntarse quiénes toman las decisiones sobre aquello que se va a estudiar y a través de qué normas y formas de participación se ejercen esas decisiones. Responder esta pregunta obliga a retomar las unidades de análisis y las escalas espaciotemporales de interés definidas previamente para delimitar un sistema de gobernanza, sin perder de vista la integralidad, multifuncionalidad y multiescalaridad en la que ocurren los hechos, ni las interacciones sectoriales y entre actores internos y externos, tal y como lo plantea la Figura 2.6. Adicionalmente, es necesario acercarse a los imaginarios futuros y a los deseos de la comunidad o los involucrados en el monitoreo del territorio o en la relación con la especie a monitorear, ya que de allí pueden surgir detonantes y conexiones con el diseño del monitoreo o con el posible uso de los resultados del mismo.

Figura 2.6.

Preguntas para entender el territorio y la gobernanza local



En este primer momento, que busca *reconocer el territorio*, no se trata de llegar al detalle ni de explicar o de validar una forma de gobernanza como buena o mala; simplemente se busca esclarecer evidencias que permitan establecer una línea base que dé cuenta de los elementos de gobernanza que entran en juego al gestionar el recurso, especie, ecosistema, paisaje, servicio u otro nivel de biodiversidad que se esté involucrando en el estudio; y reconocer que los resultados del monitoreo están situados y pertenecen a unas dinámicas sociales y ecológicas particulares. Lo más relevante aquí es sostener la mirada integral, pues desde el punto de vista socioecológico cualquiera de estos niveles hace parte de un territorio que se gestiona como un bien común y en el que intervienen diversos intereses que, dependiendo de las circunstancias, pueden compaginar o chocar con un ejercicio de monitoreo.

Para facilitar el reconocimiento de elementos de gobernanza relacionados con estudios socioecológicos y de biodiversidad, Osejo et al. (2019) proponen situar nuestra práctica científica dentro de un marco de gobernanza, dado que, quiérase o no, las actividades de monitoreo y evaluación de la biodiversidad, con sus prácticas y resultados, incidirán en los diferentes niveles de decisión e impactarán positiva o negativamente el escenario investigativo que se configure (Capítulo 3).

## 2.5. Contexto biológico del territorio

Una vez se tenga definida el área general o el territorio donde se quisiera implementar la estrategia de monitoreo, se debe evaluar qué actividades se han desarrollado previamente que estén relacionadas con el objetivo biológico del proyecto. Revisar la literatura especializada, trabajos de grado, informes técnicos u otro tipo de información puede ser útil para direccionar y afinar la formulación de la estrategia, además que evitará duplicar esfuerzos y permitirá alcanzar los objetivos planteados de mejor forma. Actualmente, es fácil tener acceso a una gran cantidad de información, por lo que esta búsqueda debe ser metódica, estructurada y guiada por criterios claros para establecer qué tipo de información será incluida y qué información será descartada.

Como parte de esta revisión, es importante tener en cuenta que existen diferentes plataformas de información que contienen datos sobre biodiversidad generados previamente por otros estudios en la misma zona de interés. A continuación, se presentan algunas de estas plataformas y se explica brevemente qué tipo de información puede obtenerse de ellas.

## 2.5.1. Plataformas para recopilación de datos sobre biodiversidad

Las plataformas de datos abiertos sobre biodiversidad permiten evaluar qué especies han sido registradas o podrían estar potencialmente en un área de estudio específica, además de evidenciar qué tantos estudios se han desarrollado sobre las especies o ecosistemas de interés en esa u otras áreas (Tabla 2.3).

Tabla 2.3.

Plataformas de datos para recopilar información secundaria en biodiversidad

Plataforma	Tipo de datos	Grupos taxonómicos	Fuentes de información
GBIF	Presencia de especies. Listas de especies. Eventos de monitoreo.	Todos	Colecciones biológicas, institutos de investigación, sociedades naturalistas, etc.
eBird	Listas de verificación (conteos de individuos de una especie durante un muestreo).	Aves	Ciencia participativa.
Bold Systems	<i>Metabarcoding</i> , presencia de especies.	Todos	Institutos de investigación y proyectos de investigación.
iNaturalist	Presencia de especies, registros ocasionales.	Todos	Ciencia participativa.
Wildlife Insights	Presencia/ausencia derivados de cámaras trampa.	Vertebrados	Institutos de investigación.
Forest Plots	Parcelas permanentes con rasgos funcionales.	Plantas	Proyectos de investigación de monitoreo de flora tropical.
Predicts	Presencia de especies en diferentes localidades con presiones antrópicas.	Todos	Proyectos de investigación.
Species Link	Presencia de especies.	Todos	Colecciones biológicas, institutos de investigación.
VerNet	Presencia de especies.	Vertebrados	Colecciones biológicas.
Xeno-Canto	Presencia de especies.	Aves	Ciencia participativa, proyectos de investigación, sociedades naturalistas, etc.
Biomodelos	Mapas de distribución de especies.	Todos	Mapas creados por expertos.
Red List	Mapas de distribución de especies.	Todos	Mapas creados por expertos.

Cuando se utilizan estas plataformas es importante tener en cuenta el nivel de incertidumbre, vacíos y errores asociados a los datos e información que pueden contener; por ello se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios:

**ERRORES DE NOMENCLATURA.** Resultan de la escritura errónea uso de nombres no válidos o no aceptados para las especies. Para evitar este tipo de errores o identificarlos resulta importante determinar la taxonomía de las especies a estudiar, ya que si se mezclan sinonimias con nombres válidos se podrían sobreestimar algunos parámetros, como la riqueza y abundancia, entre otros.

**ERRORES GEOGRÁFICOS.** Pueden surgir desde la toma del dato (coordenadas geográficas), errores de tipeo o incluso errores en los procesos de georreferenciación. En este caso se debe realizar una validación geográfica y excluir los registros biológicos que presentan problemas o inconsistencias con las fuentes a contrastar.

**INFORMACIÓN INCOMPLETA.** En muchas ocasiones, cuando se integran diferentes fuentes de información secundaria se obtienen datos compilados con información incompleta. En este punto se debe decidir cuáles son los mínimos de información que se requiere para responder la pregunta de investigación y ver si la información se puede obtener de otras fuentes y si se deben eliminar los registros que no cumplen con los criterios establecidos, preguntas útiles para limpiar los datos antes de usarlos.

**INCERTIDUMBRE TAXONÓMICA.** La identidad de las especies es clave en estudios de diversidad, dado que la especie constituye la unidad biológica mínima de estudio. Esta incertidumbre en la identificación o distribución de las especies puede ser evaluada mediante la construcción de listados potenciales de especies a partir de las listas oficiales para cada país. Si se cuenta con listados regionales o locales, estas listas potenciales constituyen una herramienta fundamental para el manejo de la incertidumbre taxonómica.

**INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS MODELOS.** Los modelos relacionados con la ecología de una especie son representaciones parciales de la realidad que tienen una incertidumbre asociada que debe ser tenida en cuenta a la hora de ser usados. Por ejemplo, los mapas de distribución potencial de especies presentados en BioModelos son representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de unas variables empleadas para generar dicha representación y son, por lo tanto, hipótesis que deben ser verificadas con datos de campo.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta son los vacíos identificados en el conocimiento de la biodiversidad, relacionados con siete aspectos clave en ecología y evolución: la identidad de las especies, su distribución, las relaciones evo-

**Tabla 2.4.**

Temáticas y elementos clave para rastreo de información de biodiversidad

Temática	Referencia
La mayoría de las especies que existen o existieron en la tierra no se han descrito ni catalogado.	Brown & Lomolino (1998); Hortal et al. (2015)
El conocimiento sobre la distribución geográfica de la mayoría de las especies es incompleto, siendo en general inadecuado a todas las escalas.	Lomolino (2004)
Falta de conocimiento sobre la abundancia de especies; los datos sobre la dinámica espacial y temporal de las poblaciones son a menudo escasos.	Cardoso et al. (2011)
Falta de conocimiento sobre el árbol de la vida, así como sobre la historia evolutiva de las especies y la evolución de sus rasgos.	Diniz et al. (2013)
Falta de conocimiento sobre los rasgos funcionales de las especies y sus funciones ecológicas.	Hortal et al. (2015)
Falta de conocimiento sobre las respuestas y los niveles de tolerancia de las especies a las condiciones abióticas.	Hortal et al. (2015)

lativas y las dinámicas poblacionales, sus funciones ecológicas, sus respuestas al ambiente y las interacciones con otros organismos (Hortal et al., 2020; Tabla 2.4).

Una vez que se identifica la información disponible en biodiversidad, así como sus vacíos, limitaciones e incertidumbre asociada, se continúa estructurando la estrategia de monitoreo. En este proceso se irá descartando información, realizando nuevas búsquedas o refinando los criterios de búsqueda originalmente establecidos. Al igual que en la caracterización del contexto geográfico y socioambiental, la profundidad a la que se llegue en cuanto al contexto biológico dependerá del alcance del proyecto. En el Capítulo 5 se mencionan otros aspectos relacionados con el monitoreo y evaluación de biodiversidad con base en fuentes secundarias de información.

## 2.6. Conclusiones

Entender el territorio de forma integral lleva a un mejor entendimiento de las complejidades de los contextos en los que se desarrollan las estrategias de monitoreo y evaluación de biodiversidad. Analizar el territorio de forma holística brinda la posibilidad de reconocer de forma clara por qué se debe implementar una estrategia de monitoreo, permite formular preguntas y objetivos más claros y concretos, contribuye a reconocer la profundidad de los fenómenos que se quieren monitorear y lleva a que las estrategias de monitoreo produzcan resultados útiles para la gestión integral de la biodiversidad (Figura 2.7).

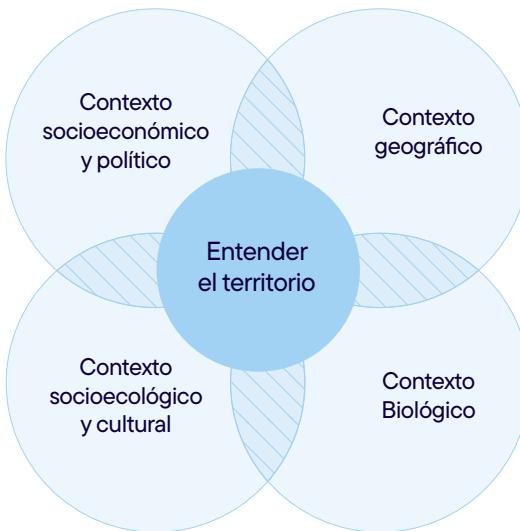


Figura 2.7.

#### Multidimensionalidad del territorio\*

\* El esquema resalta la importancia para la planeación de una estrategia de monitoreo y evaluación de biodiversidad.

Para entender el contexto geográfico se debe: tener en cuenta los fenómenos físicos que ocurren en el territorio y que pueden ayudar a definir la escala de trabajo; entender la heterogeneidad del área de estudio; contribuir a formular mejores hipótesis sobre las preguntas y objetivos; e identificar las ventajas y desventajas que podrían traer diferentes estrategias a una escala geográfica determinada. Entender el contexto socioambiental del territorio abre la posibilidad de reconocer lo diversos que pueden ser los contextos donde se realiza el monitoreo y a entenderlos como espacios dialécticos y coproducidos por los múltiples actores y relaciones. De la misma forma, permite que las estrategias de monitoreo puedan llegar a conectarse con estrategias productivas basadas en la cultura y la naturaleza.

Una estrategia de monitoreo de biodiversidad no puede ser formulada si desatiende o asume que la disposición territorial no tiene injerencia en los datos o en las tendencias de los resultados del monitoreo y, del mismo modo, no puede desarrollarse si no se reconoce cómo se relacionan las comunidades del territorio con sus medios de vida naturales y, mucho menos podrá ser exitosa, si se descuidan las tensiones, conflictos o relaciones sociales y político-administrativas del territorio o si no se prevé de qué manera los resultados se pueden insertar en dichas dinámicas.

Reconocer y hacer un buen proceso de rastreo de los trabajos previos y los datos existentes del territorio en el que se quiere desarrollar el monitoreo reduce las posibilidades de duplicar esfuerzos o tener que transformar el objetivo y la idea de monitoreo e incluso fortalece ejercicios y procesos adelantados en el territorio previamente. La recomendación principal es recordar siempre, como mínimo, realizarse preguntas “ajenas” al ejercicio de monitoreo de biodiversidad, así como abrir el espacio de diálogo para fortalecer el diseño del monitoreo, que si bien suelen verse como algo anexo o agregado a los proyectos, tienen altísima relevancia en las estrategias de monitoreo exitosas que generan insumos para la mejora de un territorio o el cuidado de la biodiversidad.

# Referencias

- Balmford, A., Green, R. E., & Jenkins, M. (2003). Measuring the changing state of nature. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(7), 326-330.
- Barragán Muñoz, J. M. (1997). *Medio ambiente y desarrollo en las áreas litorales: guía práctica para la planificación y gestión integradas*. Oikos-Tau.
- Brown, J. H., & Lomolino, M. V. (2000). Concluding remarks: Historical perspective and the future of island biogeography theory. *Global Ecology and Biogeography*, 9(1), 87-92.
- Cardoso, P., Erwin, T. L., Borges, P. A., & New, T. R. (2011). The seven impediments in invertebrate conservation and how to overcome them. *Biological Conservation*, 144(11), 2647-2655.
- Cabrera, J. A. (2012). Natural licks and people: Towards an understanding of the ecological and social dimensions of licks in the Colombian Amazon [Tesis doctoral, University of Kent].
- Corzo, G., & Andrade, G. (2011). ¿Qué y dónde conservar? Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Delgado-Aguilar, M. J., Hinojosa, L., & Schmitt, C. B. (2019). Combining remote sensing techniques and participatory mapping to understand the relations between forest degradation and ecosystems services in a tropical rainforest. *Applied Geo*, 65-74.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ..., & Shirayama, Y. (2018). RE: Shifts, drifts and options. A response to Faith. *Science E-Letter*, 16 de febrero. <http://science.sciencemag.org/content/359/6373/270/tab-e-letters>
- De Graaf, M., Buck, L., Shames, S. & Zagt, R. (2018). *Guía: evaluación de la gobernanza de paisajes. Un enfoque participativo [Guidelines: Assessing Landscape Governance. A Participatory Approach]*. Tropenbos Internacional y EcoAgriculture Partners.
- Diniz-Filho, J. A. F., Soares, T. N., Lima, J. S., Dobrovolski, R., Landeiro, V. L., Telles, M. P. D. C., ... & Bini, L. M. (2013). Mantel test in population genetics. *Genetics and molecular biology*, 36, 475-485.
- Ellsberg, M., & Heise, L. (2005). *Researching violence against women: a practical guide for researchers and activists*. World Health Organization and London School of Hygiene and Tropical Medicine. <https://www.who.int/publications/item/9241546476>
- Gehlke, C. E., & Biehl, K. (1934). Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material. *Journal of the American Statistical Association*, 29(185A), 169-170. <https://doi.org/10.1080/01621459.1934.10506247>
- Geilfus, F. (2002). *80 herramientas para el desarrollo participativo*. IICA.
- Giménez, G. (1996). Territorio y cultura. *Estudios sobre las Culturas Contemporáneas*, 2(4), 9-30.
- Goodchild, M. F. (2018). Big Geodata. En *Comprehensive Geographic Information Systems* (pp. 19-25). Elsevier.
- Gutiérrez, P. M. (2007). *Mapas sociales: método y ejemplos prácticos*. [Documento en línea]. [www.preval.org](http://www.preval.org)
- Hortal, J., De Bello, F., Diniz-Filho, J. A. F., Lewinsohn, T. M., Lobo, J. M., & Ladle, R. J. (2015). Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 523-549.

- Hortal, J. (2020). A meaningful application of species distribution models and functional traits to understand invasion dynamics. *Peer Community in Ecology*, 100065.
- Hurtado, R. V. (2000). La crisis de 1929 en América Latina: Del viejo paradigma al nuevo paradigma explicativo. Alcances y limitaciones. *Revista de Historia de América*, 126, 85-111.
- Hurtado de Barrera, J. (2010). *Metodología de la investigación holística: guía para una comprensión holística de la ciencia*. Quirón.
- Jenkins, L. D., Maxwell, S. M., & Fisher, E. (2012). Increasing conservation impact and policy relevance of research through embedded experiences. *Conservation Biology*, 26(4), 740-742.
- Kwan, M. P. (2012). The uncertain geographic context problem. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(5), 958-968. <https://doi.org/10.1080/00045608.2012.687349>
- Kozar, R., Buck, L. E., Barrow, E. G., Sunderland, T. C. H., Catacutan, D. E., Planicka, C., ... & Willemen, L. (2014). Toward viable landscape governance systems: What works? EcoAgriculture Partners.
- Moreno Lerma, O. I. (2009). *Elaboración de la estructura del sistema de información geográfico para la implementación del expediente urbano en el municipio de Salento*. [Trabajo de grado, Universidad del Quindío]. <https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/3376>
- Lomolino, M. V. (2004). Conservation biogeography. En Lomolino, M. V. & Heaney, L. R. (Eds.), *Frontiers of Biogeography: new directions in the geography of nature* (parte V). Sinauer, International Biogeography Society.
- Manley, D. (2021). Scale, aggregation, and the modifiable areal unit problem. En Fischer M. M., & Nijkamp P. (Eds.), *The Handbook of regional science* (pp. 1157-1171). Springer.
- Montaño-Gómez, G. (2016). Territorios para la paz en Colombia: procesos entre la vida y el capital. *Bitácora Urbano Territorial*, 26(2), 11-28. <https://www.redalyc.org/journal/748/74846551002/html/>
- Negret, P. J., Sonter, L., Watson, J. E., Possingham, H. P., Jones, K. R., Suarez, C., ... & Maron, M. (2019). Emerging evidence that armed conflict and coca cultivation influence deforestation patterns. *Biological Conservation*, 239, 108176.
- Openshaw, S. (1983). The modifiable areal unit problem. En Johnston R. J. & R. K. Semple (Eds.), *Classification using information statistics*. Geo Books.
- Osejo, A. Garrido, A., Álvarez, J., Martínez, S., Lara, D., Ruiz, O., & Posada, B. (2019). *Guía para la caracterización de la gobernanza en paisajes rurales: Línea de investigación 9: Gobernanza y equidad*. [Documento interno, Instituto Humboldt].
- Owen, M., Swaisgood, R., & Blumstein, D. (2016). Contextual influences on animal decision-making: Significance for behavior-based wildlife conservation and management. *Integrative Zoology*, 12. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12235>
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., & Taillieu, T. (2007). Social learning and water resources management. *Ecology & Society*, 12(2), 5.
- Rozo, L. A. L. (2020). La Línea Negra como reconocimiento de territorios ancestrales de las comunidades indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta. *IUSTA*, 53.
- Sampieri, R., F. Collado, C., & B. Lucio (2010). *Metodología de la investigación* (5 ed.). McGraw-Hill.
- Suárez-Parra, K. V., Cely-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Córbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 17(1), 1-15.
- Tapella, E. (2007). *El mapeo de actores claves*. [Documento de trabajo, Universidad Nacional de Córdoba].

- Turner, A. (2006). *Introduction to Neogeography*. O'Reilly.
- UPRA - Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2014). *Zonificación de aptitud para plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia* [Map].
- Van der Molen, F. (2018). How knowledge enables governance: The coproduction of environmental governance capacity. *Environmental Science and Policy*, 87, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.016>
- Van der Hammen, T. (1992). *Historia, ecología y vegetación*. Corporación Araracuara.
- Vélez-Gómez, J. & M. Fernández- Lucero. (2021) Flor de Inírida (guacamaya superba) conocimiento y conservación en sabanas del sitio ramsar estrella fluvial Inírida, Colombia. Pp: 60-67. En: Usma-Oviedo, J.S., Franco-Jaramillo, M., Trujillo, F. y Mesa Ramsar EFI (Eds.). *Plan de Manejo ambiental del sitio Ramsar Estrella Fluvial Inírida: avances en el conocimiento, conservación y uso sostenible de su biodiversidad*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico-CDA, SINCH, Proyecto GEF Corazón de la Amazonía, Corporación Mesa Ramsar EFI, Asociación de Campesinos para la Sostenibilidad Zona Ramsar EFI-ACEFIN & WWF Colombia.
- Walter, S. (2001). *Non-wood forest products in Africa. A regional and national overview*. [Documento de trabajo FOPW/01/, FAO Forestry Department 1].
- Werner, F. A., & Gallo-Orsi, U. (2018). *Monitoreo de la biodiversidad para la gestión de recursos naturales. Un manual de introducción*. GIZ.





# Construcción de la estrategia de monitoreo

---

María Cecilia Londono Murcia<sup>1</sup>, Lina M. Sánchez-Clavijo<sup>1</sup>, María I. Arce-Plata<sup>1,2</sup>, Sindy Martínez-Callejas<sup>1</sup>, Bibiana Gómez Valencia<sup>1</sup>, Adriana Restrepo-<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Humboldt

<sup>2</sup> Université de Montréal, Canadá.

# 3.1. Introducción

El segundo paso del ciclo de monitoreo es la construcción de la estrategia y tiene por objetivo definir el propósito del monitoreo y los actores clave para su desarrollo. Es el paso en que se elabora la carta de navegación para el desarrollo del proceso de monitoreo.

El ciclo de monitoreo tiene tres pasos de planeación, en donde se responden las preguntas: por qué, para qué, qué, quiénes, dónde, cuándo y cómo. La primera pregunta se responde en el paso 1 del ciclo de monitoreo (Capítulo 2), donde se caracteriza el contexto socioecológico del territorio o sistema en el cual se va a trabajar y se decide si un proceso de monitoreo de biodiversidad es lo más adecuado para atender las necesidades de información del territorio o sistema. Las preguntas: para qué, qué y quiénes se contestan en el paso 2 y se abordan en este capítulo, y las preguntas dónde, cuándo y cómo se responden en el paso 3 (Capítulo 4 y Capítulo 5).

La construcción clara de una estrategia de monitoreo es fundamental, porque en ella se define el objetivo del proyecto o iniciativa de monitoreo y se justifica la importancia del proceso. Desarrollar este paso antes de iniciar la etapa de implementación mejora la organización del proyecto, potencia las sinergias entre actores y ahorra recursos, tiempo y dinero, pues al finalizarlo se tiene una ruta clara de lo que se desea conseguir y de quiénes van a generar y a utilizar la información obtenida. La construcción de la estrategia facilita el seguimiento al proceso de monitoreo, pues deja claro qué es lo que se desea lograr (Hobson et al., 2014).

Este capítulo presenta conceptos, herramientas y ejemplos que permiten encontrar las respuestas a las preguntas: para qué, qué y quiénes deberían participar en un proceso de monitoreo; por lo tanto, cada sección se dedica a la respuesta de cada una de estas preguntas. El *para qué* define el propósito, los objetivos, metas e hipótesis; el *qué* define las variables y objetos de monitoreo, y el *quiénes* define los actores a involucrar en el proceso.

## 3.2. Propósito o *para qué* del proyecto de monitoreo y evaluación de la biodiversidad

El primer hito de la hoja de ruta para implementar el proceso de monitoreo es tener claridad del propósito o *para qué* del proyecto. La respuesta debe construirse de manera participativa con los usuarios de la información que se quiere generar: comunidades locales, empresas, entidades específicas, gremios o sectores, o a partir del estado del arte sobre las preguntas de investigación que se desea responder.

Lo primero es definir qué tipo de monitoreo se va a realizar, según dos tipos generales de proyecto: monitoreo a la gestión de biodiversidad (tipo 1) y monitoreo científico (tipo 2). El primero está asociado a la evaluación, seguimiento y cumplimiento de metas planteadas en proyectos de gestión integral de la biodiversidad, que incluyen, entre otras, estrategias de conservación, restauración (Aguilar & Ramírez, 2015; 2021) y uso sostenible de la biodiversidad. El segundo está asociado a preguntas de investigación; por ejemplo, sobre el funcionamiento de los sistemas socioecológicos, procesos ecológicos, respuesta de la biodiversidad ante perturbaciones, o proyectos motivados por la curiosidad o de monitoreo pasivo (Lindenmayer & Likens, 2018).

Aunque puede pasar que dentro de un proceso de monitoreo se tengan objetivos tanto de gestión como de investigación, generalmente los proyectos de monitoreo suelen estar asociados más a un tipo que a otro. Definir el tipo del monitoreo es esencial para saber si a continuación se deben plantear objetivos y metas (tipo 1) o preguntas e hipótesis (tipo 2) que orienten la estrategia (Figura 3.1).



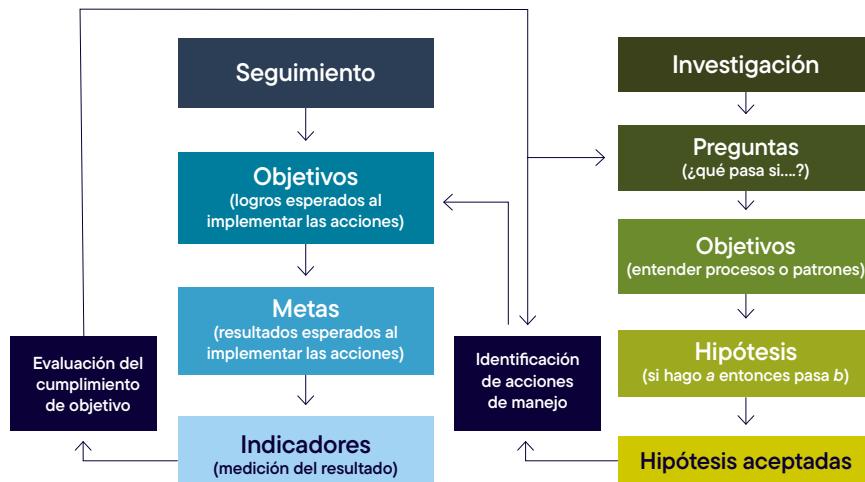
Figura 3.1.

Monitoreo a la gestión de biodiversidad (izq.) y monitoreo científico (der.)

Estos procesos de monitoreo se relacionan entre sí toda vez que la investigación genera conocimiento necesario para saber cuáles acciones de manejo son las más acertadas y, a su vez, la gestión arroja preguntas al evaluar los objetivos, que deben ser contestadas con la investigación (Figura 3.2). El monitoreo científico permite generar la ciencia necesaria para tomar decisiones de gestión y la gestión genera necesidades de conocimiento que deben ser atendidas mediante una ciencia pertinente para la toma de decisiones.

Figura 3.2.

Relaciones entre monitoreos: de gestión de la biodiversidad y científico



### 3.2.1. Objetivos

Todo proceso de monitoreo de biodiversidad debe estar direccionado por objetivos generales y específicos. Un objetivo es un enunciado que inicia con un verbo y, en este caso, debe indicar lo que se pretende verificar o contestar con el monitoreo. Usualmente se encuentran relacionados con una condición futura deseada para un recurso o componente de la biodiversidad (Reynolds et al., 2016) o con la pregunta de investigación que se pretende responder. Un objetivo general indica la temática general asociada al proceso de gestión o científico y los objetivos específicos indican propósitos particulares cuyo cumplimiento se relaciona con el cumplimiento del objetivo general.

En cuanto a los objetivos y metas del proceso de gestión (tipo 1) o manejo, ellos son la guía del monitoreo, toda vez que el propósito en este caso es generar información para evaluar y hacer seguimiento a los resultados, cumplimiento, desempeño e impacto del proceso de gestión o manejo. Al respecto, se recomienda que se tengan en cuenta las siguientes recomendaciones al momento de plantear los objetivos para este tipo de proyectos (Londoño & Sánchez, 2021):

- » Que estén enmarcados en objetivos globales y nacionales de biodiversidad; por ejemplo, en las metas del Marco Mundial de Biodiversidad post 2020 o en

- las metas asociadas al Plan de Acción de Biodiversidad 2016-2030 de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos.
- » Que se relacionen de manera positiva con objetivos de manejo y conservación de la región en la que se va a implementar el proyecto.
  - » Que se enfoquen en lo que se debe lograr para solucionar un problema o mejorar una situación.
  - » Que sean relevantes e importantes para los actores involucrados o afectados por el proyecto.
  - » Que sean medibles a través del planteamiento de metas e indicadores.
  - » Que inicien con un verbo que indique la acción o propósito que se quiere lograr, seguido del objeto, atributo o situación sobre la cual se quiere efectuar dicha acción o propósito, y que posteriormente se justifique para qué se requiere dicha acción.

Adicionalmente, cuando se plantean los objetivos, resulta útil contestar las siguientes preguntas:

- » ¿Cuál es el fin último de las estrategias para la conservación, restauración o manejo de la biodiversidad que se va a seguir? La respuesta de esta pregunta orienta el objetivo general y está relacionada con los impactos a largo plazo.
- » ¿Cuál es el propósito de cada una de las acciones de conservación o manejo que se pretenden implementar? La respuesta de esta pregunta orienta los objetivos específicos y está relacionada con los productos y resultados esperados de forma más inmediata.

Probablemente al responder estas preguntas se incluirán muchos temas diferentes; si este es el caso, hay que organizar las respuestas en objetivos específicos que correspondan a las diferentes temáticas mencionadas en el objetivo general.

### 3.2.2. Metas e indicadores

“Sin un objetivo claro, es imposible establecer metas significativas” (Noss, 1999). Si ya se definieron los objetivos del proyecto, se puede continuar definiendo las metas e indicadores. Las metas son enunciados que indican el propósito del proyecto de conservación, restauración o manejo, pero se diferencian de los objetivos en que estas cuantifican los objetivos específicos y además presentan una dimensión temporal de cuándo se pretende alcanzarlos. Una vez se tienen los objetivos específicos definidos, es fácil plantear metas claras que se deben cumplir. Las metas deben (Londoño & Sánchez, 2021):

- » Ser medibles y estar planteadas en unidades que puedan ser medidas.
- » Tener límite de tiempo en el que deben cumplirse.

- » Responder al objetivo específico establecido y comunicar exactamente lo que se pretende lograr y cómo se va a lograr.
- » Ser factibles. Pueden ser ambiciosas pero debe ser posible alcanzarlas siendo realistas con base en las capacidades y recursos disponibles.
- » Considerar que puede existir más de una meta por objetivo.

Para definir las metas es necesario tener un diagnóstico de línea base de los componentes de la biodiversidad que se van a intervenir. Este diagnóstico da cuenta de las tendencias de cambio históricas y del estado inicial en el que se encuentra la biodiversidad antes de la implementación del proyecto de conservación o restauración. A partir de este diagnóstico se selecciona el punto de referencia al cual quiere ser llevado el sistema mediante las acciones implementadas (Londoño & Sánchez, 2021). En ausencia de una línea base, las metas pueden ser generadas con base en fuentes que evidencien las condiciones ambientales, sociales o económicas que conduzcan a alcanzar el propósito planteado en el objetivo (Clewell & Aronson, 2012).

En los procesos de monitoreo de tipo científico no se plantean metas, que son “reemplazadas” por las hipótesis y predicciones que permiten al investigador plantear claramente lo que espera encontrar en su proceso investigativo.

Los indicadores son medidas que evalúan el avance logrado en el cumplimiento de la meta. Dada su relación con la meta y los objetivos, el indicador transmite información más allá del valor de los datos en sí mismos, toda vez que está inmerso en un contexto específico (Londoño & Sánchez, 2021).

La definición de una meta es la base para la definición del indicador. Idealmente el indicador debe utilizar las mismas unidades de medida que se plantean en la meta. En los procesos de monitoreo de tipo científico no es común formular indicadores y se utilizan los datos recolectados para desarrollar análisis de estado y tendencia que permiten aceptar o rechazar las hipótesis planteadas. En el Capítulo 7 se profundiza en los aspectos conceptuales y metodológicos de la construcción de indicadores.

### 3.2.3. Manejo adaptativo, preguntas e hipótesis

En los proyectos de gestión, las hipótesis son vínculos predictivos entre las acciones de manejo que se van a implementar y el resultado o impacto que estas van a tener en relación con los objetivos deseados. En el monitoreo a la gestión de la biodiversidad las hipótesis se suelen trabajar en el marco del manejo adaptativo, el cual permite ir ajustando las acciones de acuerdo con los resultados que se van obteniendo mediante el monitoreo, sin necesidad de tener un sistema de diseño experimental tan riguroso (Rempel et al., 2004).

El manejo adaptativo integra diseño, manejo y monitoreo para probar supuestos de forma sistemática y lograr mayores aprendizajes (Salafsky et al., 2001). Para que sea efectivo se requiere: 1) objetivos, metas y propósitos claros, con tiempos definidos para alcanzarlos y la definición de umbrales asociados; 2) evaluaciones periódicas de si se están cumpliendo las trayectorias deseadas para alcanzar dichos objetivos, metas y propósitos; 3) entendimiento de por qué algunas acciones funcionan y otras no; 4) determinar qué aspectos deben ser mitigados o corregidos; 5) usar los resultados del monitoreo para mejorar el proyecto lo más pronto posible; 6) si es necesario, ajustar o seleccionar nuevos indicadores; y 7) documentar y divulgar el proceso, los resultados logrados y las lecciones aprendidas (León & Vargas, 2021).

Implementar un marco de manejo adaptativo en procesos de gestión integral de biodiversidad permite implementar correctivos cuando se detecta que las trayectorias de los procesos no llevarán al cumplimiento de metas y objetivos en el tiempo planificado. Esto es especialmente importante si se tiene en cuenta que la incertidumbre en las respuestas de los ecosistemas a las acciones de manejo es muy alta, por lo que es necesario aprender sistemáticamente de los éxitos y fracasos, aspecto que debe ser considerado en el presupuesto y el cronograma del proyecto (León & Vargas, 2021).

En el caso de los proyectos de monitoreo científico (tipo 2), las preguntas que se quiere responder constituyen la base de los objetivos, pues este tipo de monitoreo pretende generar información para encontrar patrones y entender procesos que los producen. Las hipótesis son expresadas como proposiciones, conjeturas, suposiciones, ideas o argumentos que se aceptan temporalmente. Las hipótesis formuladas *a priori* formuladas en este paso del ciclo de monitoreo son la base para planificar la obtención y análisis de los datos. En una fase final del ciclo de monitoreo, durante la evaluación del proceso, se pueden formular hipótesis *a posteriori* generadas con base en los resultados obtenidos, planteando nuevas relaciones entre las variables monitoreadas (Isern & Soler, 1998).

Por otro lado, los programas de monitoreo asociados a proyectos de investigación –por ejemplo, el monitoreo ecológico a largo plazo– plantean hipótesis o predicciones que se pretende corroborar o rechazar según la evidencia recolectada (Isern & Soler, 1998). El éxito de ambos tipos de monitoreo depende en gran medida de la calidad del diseño experimental sobre el cual están soportados (Capítulo 4).

## Dos ejemplos de construcción del propósito en monitoreo de biodiversidad

CASO A. MONITOREO A LA GESTIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN ÁREAS PROTEGIDAS. El Sistema Regional de Áreas Protegidas del Eje Cafetero (Sirap EC) planteó su Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Re-

gional de Áreas Protegidas en 2021. Este plan responde a seis prioridades temáticas, para las cuales se identifican líneas de investigación, preguntas, objetivos y acciones (Figura 3.3). Una vez el plan contó con las preguntas, obje-

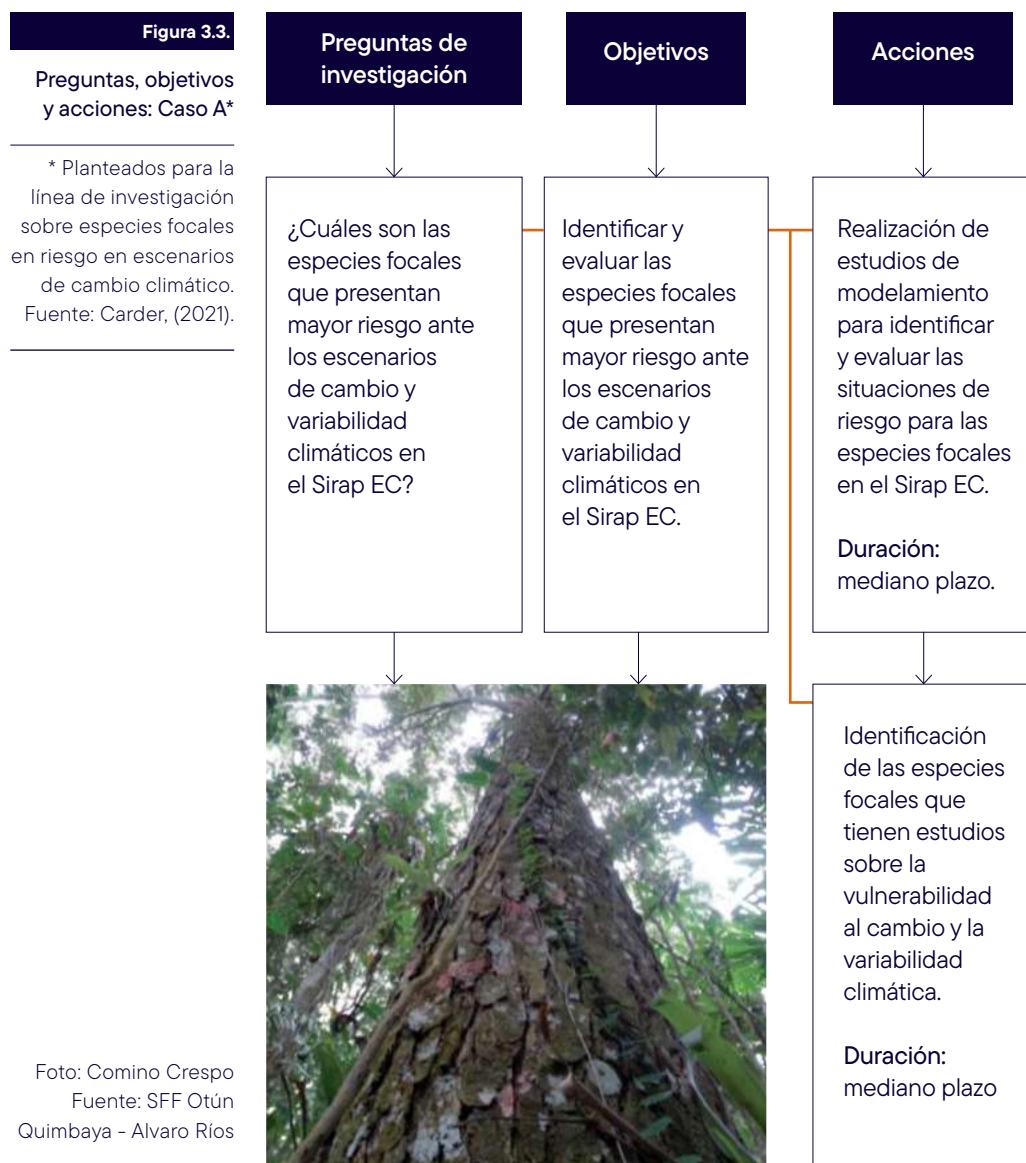
Caja 3.1.



tivos y acciones para todas las líneas temáticas, se identificó un conjunto de indicadores que se asocian al seguimiento del cumplimiento de las acciones y los objetivos del plan de investigación y monitoreo del Sirap EC (Figura 3.4).

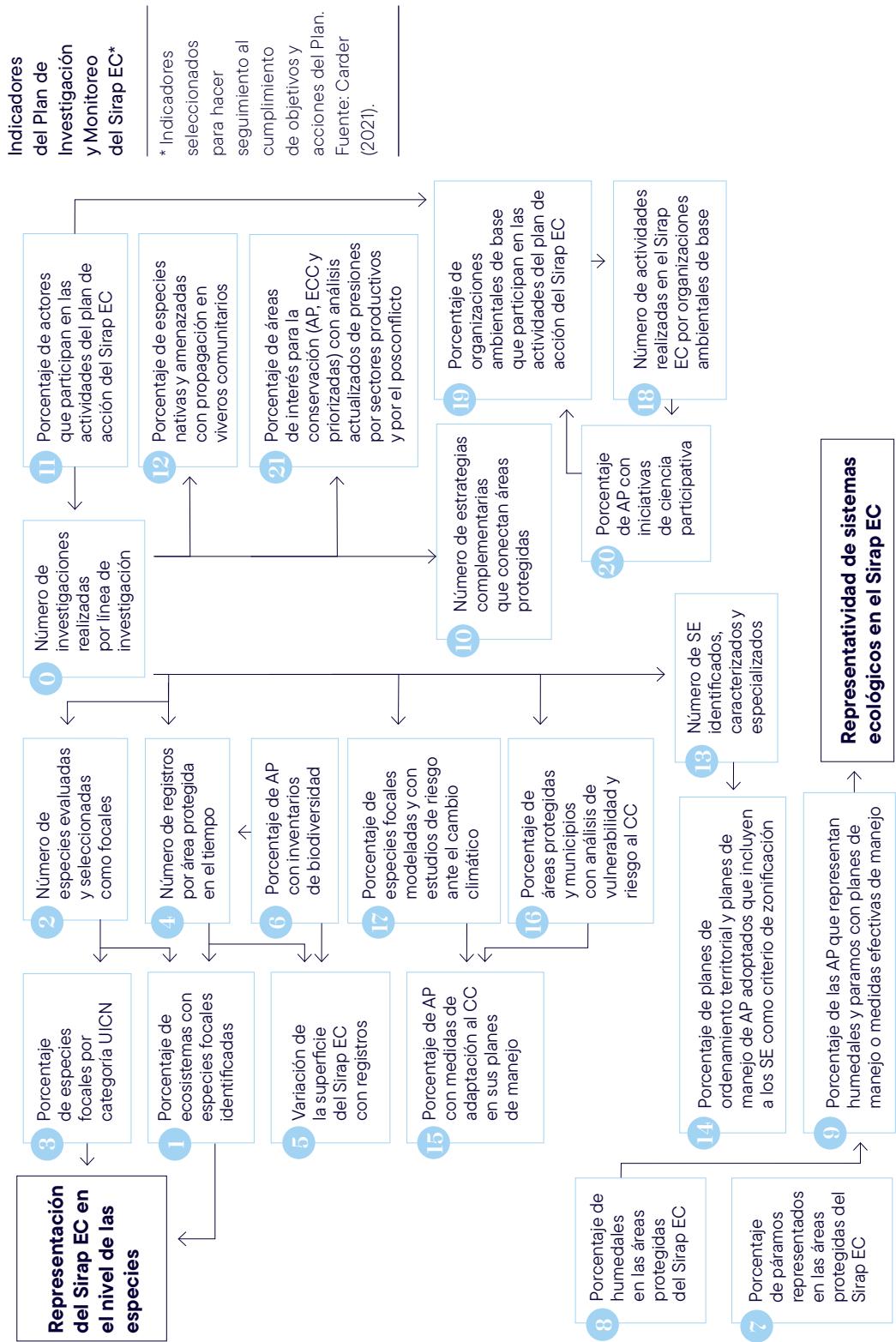
El Sirap EC tiene 350 777 ha, pertenecientes a 217 áreas protegidas y 275 327 ha en Estrategias Complementarias de Conservación (ECC),

lo cual significa que el 19 % de su territorio está cubierto por alguna figura de conservación. Luego de haber identificado objetivos, acciones e indicadores, es claro que un proceso de monitoreo es necesario para reportar sobre el avance y hacer un seguimiento a los procesos de investigación de las seis prioridades temáticas definidas para el sistema.



## Indicadores del Plan de Investigación y Monitoreo del Sirap EC\*

Figura 3.4.



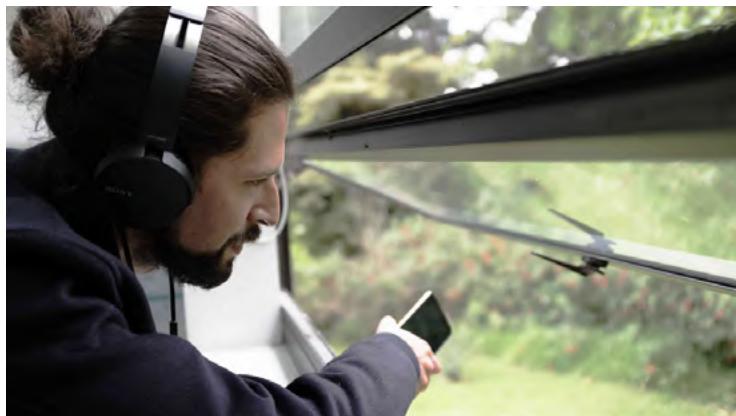
CASO B. MONITOREO PARA LA INVESTIGACIÓN DE IMPACTOS DE UN EVENTO INESPERADO<sup>1</sup>. El confinamiento estricto durante el inicio de la pandemia del covid-19 produjo una reducción en el ruido ambiental que generaban las actividades humanas en las grandes ciudades. Para los investigadores,

este fue un escenario ideal para plantear preguntas sobre el impacto del ruido en los paisajes sonoros urbanos.

Ulloa et al. (2021) argumentan que el ruido en las ciudades se ha medido principalmente por presión sonora, pero no se hace un análisis más completo de las distintas fuentes

Figura 3.5.

Mediciones de ruido en paisajes sonoros



<sup>1</sup>Por Juan Sebastián Ulloa Chacón, Instituto Humboldt.

que constituyen el ruido en ellas, análisis que son de gran importancia para el manejo de la contaminación sonora. Ulloa y su equipo propusieron dos hipótesis para entender de manera más integral, y no solo con medidas de presión sonora, el impacto del ruido antrópico en las ciudades.

- » El impacto acústico de las actividades humanas es proporcional a la intensidad de la urbanización, con ciudades muy urbanizadas mostrando el mayor aporte a la antropofonía.
- » El efecto de enmascaramiento del ruido antrópico afecta negativamente la capacidad de percepción humana de los cambios en el paisaje sonoro.

Para probar las hipótesis se evaluaron tres temas particulares, con las siguientes predicciones:

- » Presión sonora: los valores de presión sonora serán menores durante el confinamiento estricto que durante el confinamiento parcial.
- » Estructura acústica: durante el confinamiento estricto habrá una mayor dominancia de elementos asociados al sonido de aves e insectos que al sonido antropogénico.
- » Percepción humana: en ciudades más urbanizadas la percepción de sonidos provenientes de la naturaleza será menor que en ciudades menos urbanizadas.

Para poner a prueba las predicciones e hipótesis, Ulloa y colaboradores requirieron un proceso de monitoreo que incorporaba un diseño de muestreo adecuado y suficiente para poder tomar los datos y analizarlos.

### 3.2.4. Importancia de los marcos de referencia en el monitoreo a la gestión de la biodiversidad

Con el fin de organizar la información proveniente del monitoreo y que esta sirva para el manejo adaptativo (Lindenmayer & Likens, 2018), los indicadores se deben organizar en un marco de referencia, también llamado marco conceptual, que permita relacionar las acciones implementadas en los procesos de conservación o manejo de la biodiversidad con su impacto esperado, así como tener en cuenta otros agentes de cambio o condiciones de los ecosistemas que puedan afectar el cumplimiento de las metas planteadas.

En la última década, los modelos de referencia basados en la teoría de cambio han cobrado cada vez más importancia en el marco del seguimiento a proyectos que tienen como objetivo conseguir cambios transformativos en sistemas socioecológicos. Desarrollar una teoría de cambio durante la planeación de una estrategia de monitoreo requiere una discusión entre el equipo de investigación y las partes interesadas, y permite formular de manera explícita las expectativas que diferentes actores tienen

sobre los resultados, aclarar el alcance del programa y definir por etapas qué se puede y qué no se puede monitorear (Reinholz & Andrews, 2020).

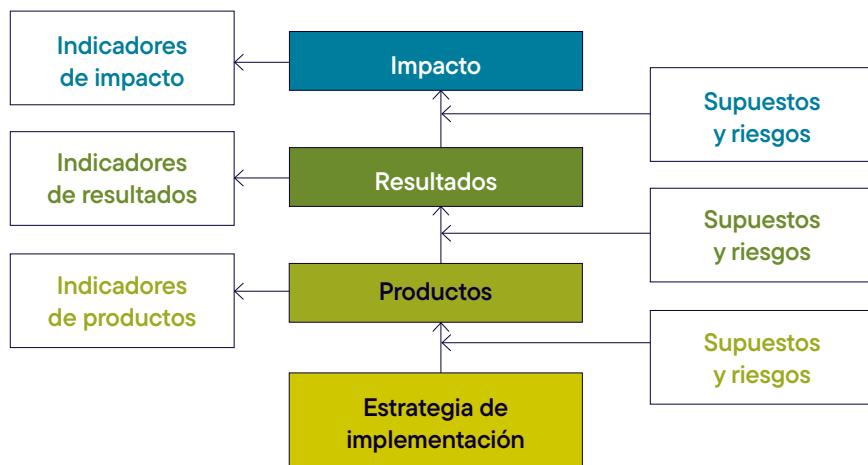
De forma básica, la teoría de cambio es una herramienta de planificación estratégica que permite, a partir de un estado actual, planificar las acciones necesarias para llegar a un estado deseado. Diferenciar los productos inmediatos derivados de las acciones implementadas de los resultados a mediano plazo, que surgen como consecuencia de estos productos, y de los impactos esperados como consecuencia de estos resultados permite construir una cadena causal entre acciones y consecuencias con diferentes horizontes temporales (Unicef, 2014; Figura 3.6).

Si el proceso de monitoreo produce indicadores en cada uno de estos pasos, permitirá medir el progreso de las estrategias, teniendo en cuenta los supuestos y riesgos de cada relación causal, para distinguir entre fallas en la teoría y fallas en la implementación. Como a medida que avanza la cadena de causalidad se tiene menos control sobre el éxito de los cambios esperados, no es recomendable esperar hasta el final de un proyecto para evaluar si tuvo éxito en cumplir sus objetivos. La teoría de cambio inicial de un proyecto debe ser tomada como una serie de hipótesis acerca de cómo ocurrirá el cambio, y estas hipótesis deben ser investigadas y revisadas a medida que el proyecto avanza, llevando al ajuste del modelo y permitiendo enmarcar el monitoreo dentro de un contexto de manejo adaptativo (Vogel, 2012).

Figura 3.6.

Modelo conceptual de teoría de cambio

Fuente: adaptado de Unicef (2014).



En el Capítulo 7 se describen con más detalle otros marcos de referencia que permiten relacionar las metas y los indicadores, tales como el marco de presión, estado, respuesta, beneficio (PERB) (Sparks et al., 2011) o el marco de la Plataforma Inter-gubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (Ipbes - Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) (Díaz et al., 2015). Utilizar estos marcos de referencia permitirá contar con un conjunto de indicadores que se encuentren conceptualmente relacionados y hacer una gestión adaptativa de los procesos que se monitorean. Al hacer uso de estos marcos se deben diferenciar dos tipos de indicadores (Londoño & Sánchez, 2021):

**INDICADORES DE GESTIÓN O IMPLEMENTACIÓN.** Son aquellos utilizados para hacer el seguimiento a la ejecución de las acciones y demuestran qué tanto se ha avanzado o cumplido con las actividades definidas en los proyectos de conservación o manejo (Capítulo 12).

**INDICADORES DE EFECTIVIDAD O IMPACTO.** Son aquellos que demuestran el resultado o impacto de las acciones de conservación o manejo (Capítulo 7).

Dado que hay indicadores de implementación y de efectividad, y también los hay para monitoreo de las presiones, respuestas, estados y beneficios, un proyecto o programa de monitoreo tiene asociado a una batería de indicadores que contiene tantos indicadores como sean necesarios para la adecuada evaluación del cumplimiento de los objetivos propuestos.

Una vez se relacionan los diferentes indicadores usando los marcos de referencia, se pueden plantear preguntas o hipótesis sobre qué tanto las acciones implementadas u otros agentes de cambio tienen incidencia en los resultados esperados (Londoño & Sánchez, 2021). Estas preguntas o hipótesis pueden ser trabajadas en procesos de investigación o generar medidas alternativas de manejo (Figura 3.2).

Caja 3.2.

## Modelo de monitoreo en restauración ecológica<sup>2</sup>

En restauración ecológica el monitoreo se realiza en dos etapas (Vargas et al., 2021) que son definidas como *monitoreo de implementación* y *monitoreo de efectividad* (Figura 3.6). El de implementación se realiza para verificar que las acciones de restauración pactadas en el plan de restauración se han realizado o se están realizando según el diseño acordado. Este momento ocurre durante toda la fase de implementación, hasta entregar las acciones y obras completamente terminadas. El monitoreo de efectividad se realiza para establecer el grado o nivel de cumplimiento de las metas de restauración a lo largo del tiempo mediante la evaluación de indicadores. A partir de dicha evaluación se establecen las medidas

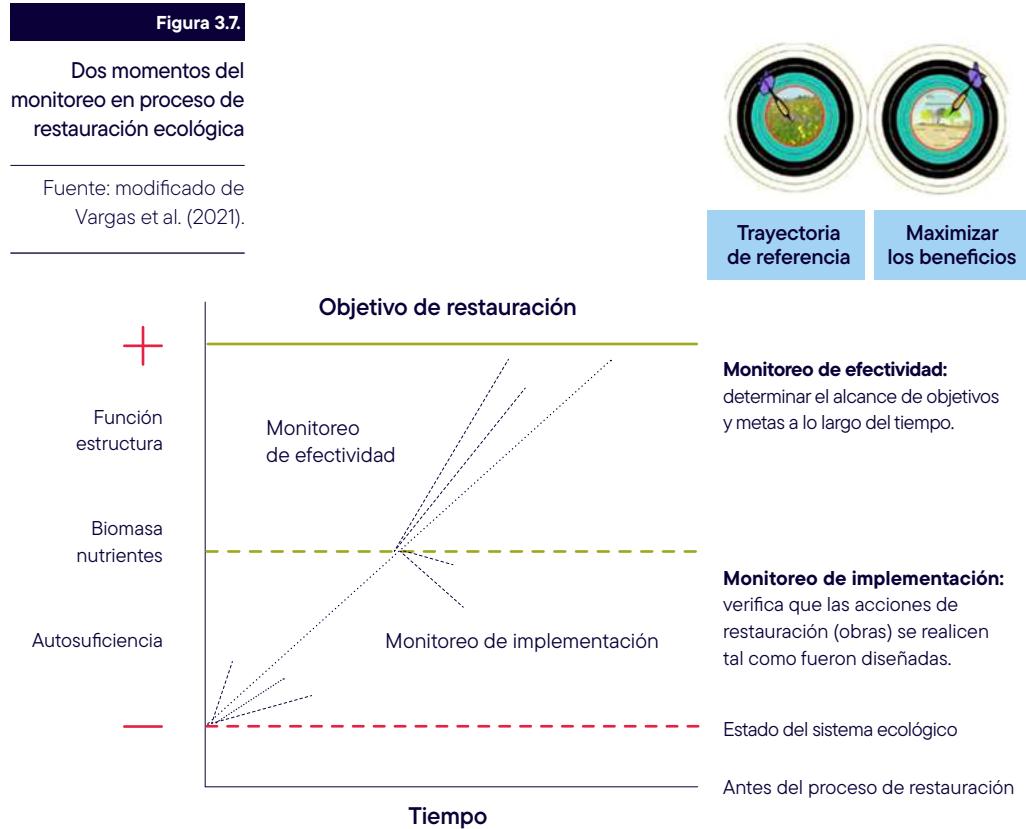
correctivas o de ajuste a las acciones de restauración previamente establecidas. Se continúa monitoreando hasta alcanzar el objetivo de restauración.

Estas dos etapas se relacionan mediante la jerarquía del monitoreo, que parte del estado inicial del sistema ecológico y de los objetivos de restauración preestablecidos, los cuales se evalúan y siguen a lo largo del tiempo, mediante la medición de indicadores de efectividad. Para esto, es indispensable establecer unas metas de restauración basadas en trayectorias de referencia. Los resultados observados en ambas etapas del monitoreo de la restauración (Figura 3.7) deben ser evaluados con base en tales las trayectorias de referencia o metas preestablecidas.

<sup>2</sup> Por Mauricio Aguilar-Garavito, Instituto Humboldt, Pontificia Universidad Javeriana.

Este ejemplo puede relacionarse con la Figura 3.6 que describe la teoría de cambio, en cuyo caso los productos y resultados corresponden al momento de monitoreo de la implementación y los beneficios o impacto al momento de monito-

reo de efectividad. El manejo adaptativo, en este caso, intenta corregir las trayectorias observadas para que no se alejen de la trayectoria de referencia de manera que las obras traigan siempre el mayor beneficio posible (Vargas et al., 2021).



En la Figura 3.7, tanto el monitoreo de implementación como el monitoreo de efectividad se relacionan de acuerdo con el modelo jerárquico de monitoreo. El eje Y está representado por valores ambientales, de biodiversidad y beneficios para las personas en un espacio objeto de restauración. La línea roja inferior representa la situación de un sistema ecológico transformado antes de iniciar un proceso de restauración ecológica.

La línea horizontal superior punteada representa la situación del mismo sistema justo después de implementar las acciones de restauración, y la línea horizontal continua representa la situación del sistema ecológico cuando alcanza los objetivos de restauración. Las líneas diagonales negras y delgadas representan distintas trayectorias de referencia que podrían tomar un área en proceso de restauración.

### 3.3. Selección de los objetos y variables que se van a monitorear: el *qué*

El siguiente hito importante en la construcción de la estrategia de monitoreo es definir las variables y objetos que van a ser medidos para lograr el monitoreo. Esta definición se debe realizar con acompañamiento de expertos en el área geográfica y la temática de estudio. De lo contrario, puede pasar que se terminen monitoreando objetos y variables que no permitan evaluar el objetivo o contestar la pregunta que se ha planteado.

Una vez se tienen claros los objetivos, metas e indicadores y se sabe para qué se quiere hacer un proceso de monitoreo, se procede a definir las variables que serán medidas. Los procesos de monitoreo permiten, mediante la recolección de datos sistemática y repetida en el tiempo, evaluar y seguir el estado, las tendencias y los cambios en variables relacionadas con los indicadores de las metas planteadas (Noon et al., 2003; Sutter et al., 1993). Una *variable* es una característica que puede cambiar en el tiempo, el espacio o con relación a otras variables, y cuya variación se puede observar, cuantificar o medir. Un *indicador* puede estar compuesto por una o más variables.

En los últimos diez años, el concepto de variables esenciales de biodiversidad (VEB o *essential biodiversity variables* - EBV) (Pereira et al., 2013) ha cobrado fuerza en los procesos de monitoreo. Inspirados en las variables esenciales del clima, las VEB se definen como un conjunto mínimo de medidas, complementarias unas de las otras, que capturan diferentes dimensiones del cambio en la biodiversidad. La conceptualización de las VEB continúa en desarrollo; sin embargo, se han identificado seis clases principales de variables (Figura 3.8) y algunas de estas ya cuentan con flujos de trabajo para estandarizar su cálculo y divulgación (Kissling et al., 2018).

Contar con variables estandarizadas permite escalar la información de procesos de monitoreo locales a modelos predictivos de cambio a escalas regionales, nacionales o globales (Navarro et al., 2017). Es ideal que al seleccionar las variables a monitorear se identifique la clase de VEB que representa y, si existen, se sigan las mejores prácticas, estándares y flujos de trabajo para su desarrollo.

En la Figura 3.8, las seis clases de VEB se derivan de las observaciones de biodiversidad provenientes de datos primarios y disponibles en repositorios nacionales y globales; a su vez, las variables se usan para calcular los indicadores que hacen seguimiento a objetivos y metas, y se ejemplifica el uso de las variables re-

Figura 3.8.

Mapeo de variables esenciales de biodiversidad (VEB) a metas post-2020 del Marco Mundial de Biodiversidad

Fuente: figura cortesía de Geobon.



lacionadas con poblaciones silvestres para calcular indicadores que responden a los objetivos en negociación del Marco Mundial de la Biodiversidad post 2020.

Las variables se miden de acuerdo con los objetos de monitoreo (Figura 3.9): aquellos paisajes, gradientes, ecosistemas, grupos de especies, especies, rasgos o procesos que se seleccionan teniendo en cuenta criterios como funcionalidad ecológica, relación con los seres humanos, prioridad de conservación y manejo (p. ej., los objetos valor de conservación que guían muchas de las estrategias de manejo de las áreas protegidas nacionales), potencial de información y practicidad para el monitoreo. Esta selección debe hacerse de forma explícita, transparente y repetible (Sánchez et al., 2019; Londoño & Sánchez, 2021).

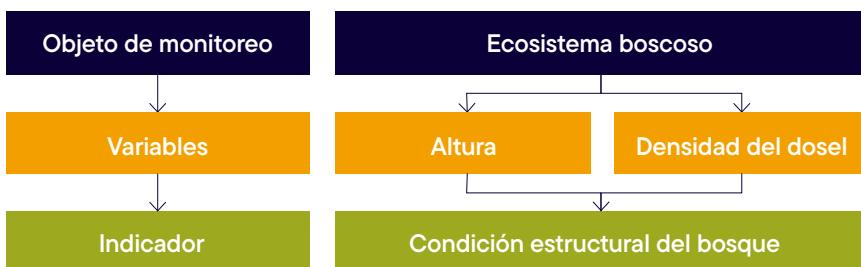


Figura 3.9.

Relación entre objeto, variable e indicador

Aunque el criterio principal para elegir los objetos y variables a ser monitoreadas debe ser su relevancia para permitir el seguimiento al objetivo o contestar la pregunta, en la realidad también hay muchos criterios logísticos que condicionan esta selección. Identificar qué es lo que se va a monitorear, es decir a cuáles objetos de monitoreo se les medirán qué variables, permite la definición del diseño (Capítulo 4) y los métodos de muestreo (Capítulo 5) que se implementarán en los siguientes pasos del ciclo de monitoreo. Por ejemplo, ya teniendo claro cuál es la pregunta de monitoreo, el objeto y la variable, se puede definir la escala temporal y, por tanto, la frecuencia en la cual se va a realizar el proceso (p. ej., un monitoreo de fenología de plantas debe hacerse al menos una vez por semana, mientras que para monitorear crecimiento se puede requerir desde mediciones diarias a anuales, dependiendo de la especie y el contexto).

## Estudio de caso del proceso de selección de objetos y variables de monitoreo de biodiversidad

Entre 2018 y 2020, el Instituto Humboldt lideró el proyecto Plan de monitoreo de biodiversidad en el bloque Platanillo de la empresa Amerisur y en los bloques Rumiyaco, Venados y Burdyne

de la empresa Gran Tierra, que, como parte de la iniciativa regional Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo, generó la información necesaria para diseñar un plan de monitoreo de biodiver-

Caja 3.3.

sidad en cuatro bloques petroleros del medio Putumayo, un área clave para la conectividad entre los bosques andinos y amazónicos del país. Al aplicar el ciclo de monitoreo, se identificó que la estrategia debía responder tanto a la prioridad regional de restaurar la conectividad andino-amazónica como a los objetivos de conservación de las comunidades locales, el sector privado y otras instituciones regionales y nacionales que participan activamente en la región (Moncada & Espinosa, 2021; Pinzón et al., 2021; Plata et al., 2021; Restrepo et al., 2021).

Se propusieron variables e indicadores (Tabla 3.1) que se podían medir en tres niveles de

organización y tres atributos de la biodiversidad definidos por Noss (1990). Finalmente, se escogió la conectividad funcional de los paisajes del medio Putumayo como el objeto de monitoreo principal y se dieron lineamientos para medirla, a través de la implementación de puntos de conteo de aves y de fototrampeo de comunidades de mamíferos terrestres medianos y grandes, y la construcción de modelos de ocupación que, al combinarse con productos de sensores remotos, permitieran la estimación de matrices de resistencia como estimadores de la conectividad que los paisajes ofrecen para las especies de bosque (Restrepo et al., 2021).

Nivel de organización	CLASE DE ATRIBUTO			Objeto y métodos
	COMPOSICIÓN	ESTRUCTURA	FUNCTION	
REGIONAL/ PAISAJE	<b>V:</b> área de bosque. <b>I:</b> proporción de bosque.	<b>V:</b> número y tamaño de parches de bosque. <b>I:</b> índice de fragmentación.	<b>V:</b> resistencia para especies de bosque. <b>I:</b> índice de conectividad funcional.	Paisajes del medio Putumayo (productos de sensores remotos).
COMUNIDAD/ ECOSISTEMA	<b>V:</b> lista de especies de plantas. <b>I:</b> riqueza de especies nativas por hectárea.	<b>V:</b> volúmenes por estrato de vegetación. <b>I:</b> índices de estructura vertical y horizontal.	<b>V:</b> acumulación de biomasa. <b>I:</b> productividad primaria neta.	Bosques remanentes vs. restaurados (parcelas de vegetación).
POBLACIONES/ ESPECIES	<b>V:</b> número de individuos según marca. <b>I:</b> abundancia relativa.	<b>V:</b> número de individuos según sexo y edad. <b>I:</b> estructura poblacional.	<b>V:</b> número de individuos según marca. <b>I:</b> tasa de supervivencia.	Aves de sotobosque (captura, marca, recaptura).
GENÉTICO	<b>V:</b> secuencias genéticas de muestras en una población. <b>I:</b> diversidad genética de la población.	<b>V:</b> secuencias genéticas de muestras en una población. <b>I:</b> tamaño poblacional efectivo.	<b>V:</b> secuencias genéticas de muestras en varias poblaciones. <b>I:</b> flujo genético entre poblaciones.	Felinos medianos (trampas de pelo).

Tabla 3.1.

Ejemplos de variables (V) e indicadores (I) de una estrategia de monitoreo de biodiversidad en Putumayo

Fuente: Restrepo et al. (2021).

# 3.4. Actores involucrados e interesados en el monitoreo: con quiénes y de qué manera

El tercer hito en la construcción de la estrategia de monitoreo es definir quiénes participarán en el proceso y de qué manera deben vincularse a los diferentes pasos del ciclo. Identificar el rol de cada actor dentro del proceso permitirá encontrar los mejores aliados para la planeación, implementación y evaluación del proceso, así como identificar los actores interesados en sus resultados. Esta identificación de actores y roles será la base para dos estrategias que se deben desarrollar de manera transversal al ciclo de monitoreo: la estrategia de comunicación (Capítulo 10) y la estrategia de gestión de actores (a continuación). Una vez se tiene claro el *para qué* y el *qué* del proceso de monitoreo, se debe:

- » Hacer un diagnóstico de las necesidades/capacidades para llevar a cabo cada uno de los pasos del ciclo de monitoreo.
- » Hacer un diagnóstico de los intereses de los diferentes actores involucrados en el proceso de monitoreo.
- » Definir quiénes serán los actores responsables/participantes en cada uno de esos pasos, pues hay una participación diferencial de actores según el paso del ciclo que se esté desarrollado y los intereses y capacidades que tengan los actores.

En el Capítulo 2 se describieron los sistemas de participación y gobernanza que caracterizan el territorio. Los procesos de monitoreo entran a ser parte de las dinámicas del territorio, siendo necesario identificar los tipos de participación que se deben tener en cada momento con los diferentes actores involucrados. El tipo de participación dependerá del interés del grupo de actores, del compromiso de los mismos y de la dependencia del proceso y del éxito de los resultados con los actores relacionados.

En la gestión de proyectos se han desarrollado herramientas para realizar la estrategia de gestión de actores involucrados; por ejemplo, las matrices de influencia, poder e interés sitúan a los diferentes actores de acuerdo con: su capacidad de participación, de toma de decisiones, de ejecutar cambios en el proyecto y su nivel de preocupación, clasificando a los diferentes actores para definir la estrategia de trabajo con cada uno de ellos. El poder mide la influencia que tiene el actor sobre el proyecto o la política asociada y el interés mide a qué nivel se-

rán afectados por la investigación (Turnbull, 2013). Con base en esto, se pueden definir acciones diferenciales por actor; por ejemplo, acciones para mantenerlos satisfechos, para comprometerlos estrechamente o para tomarlos en cuenta o mantenerlos informados (Figura 3.10).



Caja 3.4.

## Ejemplo de selección de actores en un proceso de monitoreo de biodiversidad

Una de las primeras fases del proyecto GEF Magdalena-Cauca VIVE (Fundación Natura, s.f.) fue el diseño del sistema de monitoreo de ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad asociada (Instituto Humboldt, 2019). Para este diseño se trabajó durante diez meses con múltiples actores de la macrocuenca, más de 127 personas que representaron a más de 52 instituciones, y se construyó una propuesta del sistema de monitoreo en cuya fase de

implementación deberían participar de forma conjunta instituciones del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y otros entes gubernamentales, gremios productivos y empresas privadas, academia y comunidades a lo largo de la macrocuenca.

A partir de una caracterización de actores realizada se analizó el rol que cada uno de ellos había tenido en los diferentes pasos del ciclo de monitoreo, tomando como base

los proyectos de monitoreo que se habían desarrollado en la macrocuenca (Figura 3.11). La caracterización también permitió identificar los actores que lideraban los procesos de monitoreo y los diferentes niveles de participación.

A partir de esta caracterización se generaron recomendaciones para arrancar los pilotos de este proyecto en el departamento de Antioquia, donde la red de actores era suficiente y además se tenían las capacidades y el interés para cubrir todos los pasos del ciclo de monitoreo.

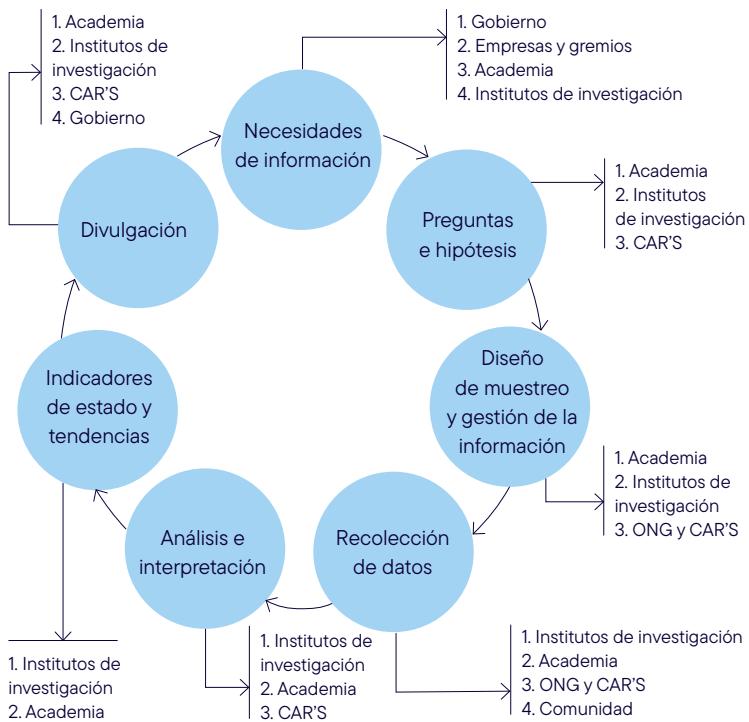


Figura 3.11.

Roles y actores en un ciclo de monitoreo, macrocuenca Magdalena-Cauca

Fuente: Instituto Humboldt (2019).

## 3.5. Indicadores de seguimiento al proceso de monitoreo

Una vez se tengan definidas las respuestas al para qué, qué y quiénes, la estrategia debe terminar con una serie de indicadores que le permitan saber si se están cumpliendo o no el propósito del proceso de monitoreo. Para esto se pueden repetir los pasos 1 a 3, pero esta vez pensando en hacer un seguimiento al proceso mismo de monitoreo que se va a implementar (Capítulo 12).

# 3.6. Conclusiones

Los hitos más importantes en la construcción de una estrategia de monitoreo y evaluación de biodiversidad implican saber para qué y qué monitorear, así como quiénes deben participar:

## PARA QUÉ MONITOREAR:

- » Defina si el proceso es de monitoreo a la gestión integral de la biodiversidad o de monitoreo científico.
- » Plantee objetivos y metas o preguntas e hipótesis claras para orientar el proceso.
- » Construya una batería de indicadores que esté relacionada de manera directa con las metas, los objetivos y la relación entre acciones de manejo y el resultado o impacto deseado.
- » Relacione las hipótesis y predicciones con sus preguntas de investigación.

## QUÉ MONITOREAR:

- » Identifique las variables y objetos de monitoreo que le permitirán cumplir sus objetivos o responder sus preguntas con los recursos disponibles para el proceso.

## QUIÉNES DEBERÍAN PARTICIPAR:

- » Identifique actores, roles y la estrategia de gestión que utilizará con cada uno de ellos.
- » Identifique indicadores para el seguimiento a su proceso de monitoreo.

No olvide trabajar los ítems 1 a 3 de manera participativa con usuarios potenciales de la información y expertos interesados en involucrarse en el proceso. Este proceso debe ser evaluado e identificar si se debe replantear alguno de los tres pasos para lograr un mejor cumplimiento del plan de monitoreo propuesto.

# Referencias

- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (Eds.). (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto Humboldt.
- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (Eds.). (2021). *Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo andino*. Instituto Humboldt.
- Clewell, A. F., & Aronson, J. (2012). *Ecological restoration: Principles, values, and structure of an emerging profession*. Island Press.
- Carder - Corporación Autónoma Regional de Risaralda. (2021). *Plan de Investigación y Monitoreo del Sistema Regional de Áreas Protegidas del Eje Cafetero, SIRAP EC*. Gestión regional para la conservación.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... & Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Dupont, F. (2023, enero 20). Cómo crear un plan de participación de los grupos de interés. Borealis <https://www.boreal-is.com/es/blog/estrategia-compromiso-partes-interesadas/>
- Fundación Natura. (s.f.). GEF Magdalena-Cauca VIVE <https://natura.org.co/minisitio-cauca-vive>
- Hobson, K., Mayne, R., & Hamilton, J. (2014). *A step by step guide to monitoring and evaluation. Monitoring and Evaluation for Sustainable Communities*. <https://transitionnetwork.org/wp-content/uploads/2016/09/Monitoring-and-evaluation-guide.pdf>
- Instituto Humboldt. (2019). *Diseño del sistema de monitoreo de ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad asociada - Producto 4. Informe final (Contrato No. FN-030-18)*. <https://natura.org.co/wp-content/uploads/2020/10/SISTEMA-MONITOREO-E.-ACUATICOS.pdf>
- Isern, M. T. I., & Soler, J. C. (1998). El uso de hipótesis en la investigación científica. *Atención Primaria*, 21(3), 172-178.
- Kissling, W. D., Ahumada, J. A., Bowser, A., Fernandez, M., Fernández, N., García, E. A., ... & Hardisty, A. R. (2018). Building essential biodiversity variables (EBVs) of species distribution and abundance at a global scale. *Biological Reviews*, 93(1), 600-625. <https://doi.org/10.1111/brv.12359>
- León, O. A., & Vargas Ríos, O. (2021). El monitoreo en la restauración ecológica: ¿por qué, para qué y cómo? En Aguilar-Garavito, M. y Ramírez, W. (Eds.), *Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo andino*. Instituto Humboldt.
- Lindenmayer, D., & Likens, G. (2018). *Effective ecological monitoring*. CSIRO.
- Londoño, M. C., & Sánchez-Clavijo, L. M. (2021). Lineamientos para la selección de objetivos, metas e indicadores para el monitoreo en procesos de restauración del páramo andino. En Aguilar-Garavito, M. y Ramírez, W. (Eds.), *Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo andino*. Instituto Humboldt.
- Moncada-Rasmussen, D. M., & Espinosa-Sanabria, J. A. (2021). Contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo de la biodiversidad. En Moncada-Rasmussen, D. M., Díaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez D., Sánchez-Clavijo, L. M, Restrepo-Isaza, A., Valenzuela, L., & Espinosa-Sanabria, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte*

- de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad. ANDI, Sinchi, IAvH y WCS.
- Navarro, L. M., Fernández, N., Guerra, C., Guralnick, R., Kissling, W. D., Londoño, M. C., ... & Pereira, H. M. (2017). Monitoring biodiversity change through effective global coordination. *Current opinion in environmental sustainability*, 29, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.co-sust.2018.02.005>
- Noon, B. R., Murphy, D. D., Beissinger, S. R., Shaffer, M. L., & Dellasala, D. (2003). Conservation planning for US National Forests: conducting comprehensive biodiversity assessments. *BioScience*, 53(12), 1217-1220. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[1217:CPFUNF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1217:CPFUNF]2.0.CO;2)
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- Noss, R. F. (1999). Assessing and monitoring forest biodiversity: A suggested framework and indicators. *Forest Ecology and Management*, 115(2-3), 135-146. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00394-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00394-6)
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J., ... & Wegmann, M. (2013). Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117), 277-278. <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
- Pinzón-Arias, M., Eraso-Puentes, L.P., Restrepo-Isaza, A. & Sánchez-Clavijo, L. M. (2021). Monitoreo comunitario de la biodiversidad en bloques petroleros del departamento de Putumayo. En Moncada-Rasmussen, D. M., Díaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez D., Sánchez-Clavijo, L. M, Restrepo-Isaza, A., Valenzuela, L., & Espinosa-Sanabria, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad*. ANDI, Sinchi, IAvH y WCS.
- Plata, C., Ortiz, R., Escobar, D. & Restrepo-Isaza, A. (2021). Biodiversidad en cifras de Putumayo: una mirada desde los datos abiertos. En Moncada-Rasmussen, D. M., Diaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez D., Sánchez-Clavijo, L. M, Restrepo-Isaza, A., Valenzuela, L., & Espinosa-Sanabria, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad*. ANDI, Sinchi, IAvH y WCS.
- Reinholz, D. L., & Andrews, T. C. (2020). Change theory and theory of change: what's the difference anyway?. *International Journal of Stem Education*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-0202-3>
- Rempel, R. S., Andison, D. W., & Hannon, S. J. (2004). Guiding principles for developing an indicator and monitoring framework. *The Forestry Chronicle*, 80(1), 82-90. <https://doi.org/10.5558/tfc80082-1>
- Restrepo-Isaza, A., Díaz-Pulido, A., Pinzón-Arias, M., Sánchez-Clavijo, L. M. & Valenzuela, L. (2021). Lineamientos para el monitoreo de la conectividad funcional de los bosques en paisajes intervenidos de Putumayo. En Moncada-Rasmussen, D. M., Díaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez D., Sánchez-Clavijo, L. M, Restrepo-Isaza, A., Valenzuela, L., & Espinosa-Sanabria, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad*. ANDI, Sinchi, IAvH y WCS.

- Reynolds, J. H., Knutson, M. G., Newman, K. B., Silverman, E. D., & Thompson, W. L. (2016). A road map for designing and implementing a biological monitoring program. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(7), 399. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5397-x>
- Salafsky, S., Margoluis, R., & Redford, K. (2001). *Adaptive management: a tool for conservation practitioners*. Biodiversity Support Program. <https://fosonline.org/library/am-tool/>
- Sánchez-Clavijo, L. M., Montenegro-Muñoz, S. A. & Pachón-Castellanos, L. F. (2019). Lineamientos para el monitoreo de biodiversidad en los páramos de Colombia. [Informe técnico del convenio APC Colombia, Instituto Humboldt y Proyecto Páramos Unión Europea].
- Sparks, T. H., Butchart, S. H., Balmford, A., Bennun, L., Stanwell-Smith, D., Walpole, M., ... & Green, R. E. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Oryx*, 45(3), 411-419. <https://doi:10.1017/S003060531100024X>
- Sutter, R. D., Benjamin, S. E., Murdock, N., & Teague, B. (1993). Monitoring the effectiveness of a boardwalk at protecting a low heath bald in the southern Appalachians. *Natural Areas Journal*, 13(4), 250-255.
- Turnbull, D. C. (2013). Successful communication. En García, L. S. ... & Wolk, D. M. (Eds.). *Clinical Laboratory Management*. American Society for Microbiology. <https://doi.org/10.1128/9781555817282.ch11>
- Ulloa, J. S., Hernández-Palma, A., Acevedo-Charry, O., Gómez-Valencia, B., Cruz-Rodríguez, C., Herrera-Varón, Y., ... & Ochoa-Quintero, J. M. (2021). Listening to cities during the Covid-19 lockdown: How do human activities and urbanization impact soundscapes in Colombia? *Biological Conservation*, 255, 108996. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108996>
- Unicef - Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2014). *Supplementary Programme Note on the Theory of Change*. [www.unicef.org/about/execboard/files/PRG-overview\\_10Mar2014.pdf](http://www.unicef.org/about/execboard/files/PRG-overview_10Mar2014.pdf)
- Vargas O., León O., & Rojas S. (2021). Protocolo para el monitoreo de la restauración ecológica en los páramos. En Aguilar-Garavito, M. y Ramírez, W. (Eds.), *Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica en el páramo andino*. Instituto Humboldt.
- Vogel, I. (2012). *ESPA guide to working with theory of change for research projects*. Ecosystem Services for Alleviation of Poverty. LTS/ITAD. <http://www.espa.ac.uk/files/espa/ESPA-Theory-of-Change-Manual-FINAL.pdf>



Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Diseño de muestreo para monitorear y evaluar biodiversidad

---

Bibiana Gómez Valencia<sup>1</sup>, Susana Rodríguez-Buriticá<sup>1</sup>, Lina M. Sánchez-Clavijo<sup>1</sup>, Ana Belén Hurtado-M<sup>1</sup>, Angélica María Hernández Palma<sup>1,2</sup>, Sindy Martínez-Callejas<sup>1</sup>, Angélica Díaz-Pulido<sup>1</sup>, Mauricio Aguilar-Garavito<sup>1,3</sup>

---

<sup>1</sup> Instituto Humboldt, <sup>2</sup> SIT Consulting - Science, Innovation & Technology,  
<sup>3</sup> Pontificia Universidad Javeriana

# 4.1. Introducción

El diseño de muestreo es un paso fundamental en la formulación de un proceso de monitoreo, ya que establece el esquema para medir las variables, responder las preguntas de investigación o medir el avance hacia los objetivos de gestión planteados en el paso anterior (Capítulo 3). Al construir la estrategia se profundizó en las respuestas a las preguntas: para qué, qué y quiénes; en este paso se abordarán las preguntas: dónde se va a hacer el monitoreo, cuándo se va hacer el monitoreo y cómo se va a hacer el monitoreo. Con estas respuestas definidas se podrá continuar con la recolección de datos (Capítulo 5) y, en general, la fase de implementación.

El diseño de muestreo es de gran relevancia, ya que garantiza que los datos recolectados sean suficientes para representar con precisión el problema de investigación o gestión que se está abordando por medio de variables e indicadores apropiados y obtener así conclusiones objetivas y válidas. Esta precisión se obtiene cuando en el diseño se reconoce, incorpora o controla de manera adecuada la variabilidad que afecta lo que se va a estudiar, principalmente la variabilidad espacial y temporal. Incluir la variabilidad en el diseño durante la selección de sitios o tiempos de muestreo reduce la incertidumbre en la interpretación de los resultados y ayuda a establecer relaciones claras entre lo que se está midiendo y los factores que lo están afectando. La definición del diseño va de la mano con establecer qué técnicas e instrumentos son los más apropiados para garantizar la precisión y así reducir la influencia de errores en la toma de datos (Capítulo 5).

Uno de los grandes problemas de muchas estrategias de monitoreo es que no se invierte suficiente tiempo ni se le da la importancia debida al diseño de muestreo. Esto, usualmente deriva en datos que son estadísticamente ineficientes o insuficientes, cuyos resultados tienen altos niveles de incertidumbre debido a la variabilidad no controlada (Capítulo 6). Estas debilidades pueden estar relacionadas con que este es un paso que requiere definir aspectos inherentemente estadísticos, tales como el tipo de variables a medir, las fuentes de variabilidad espaciotemporales, los factores de variabilidad que se pueden o no controlar, la replicabilidad, aleatoriedad, independencia, etc. La correcta definición de estos aspectos depende de un conocimiento previo del sistema, que puede no estar disponible. Independientemente de esto, generar un diseño de muestreo con la poca o mucha información que se tenga siempre es más recomendable que no hacerlo. Los ejercicios con diseños insuficientes no permiten responder las preguntas planteadas, llevan a pérdidas de recursos y reducen el interés en estos procesos (Capítulo 12). Sin embargo, un diseño ejecutado con resultados insatisfactorios siempre será más informativo para futuros esfuerzos que un conjunto

de datos tomados sin ninguna estrategia, sobre los cuales no se podrá hacer un análisis de fuentes de variabilidad.

Por lo tanto, existen unas recomendaciones mínimas para que el diseño de muestreo de una estrategia de monitoreo y evaluación de biodiversidad sea funcional. Estas incluyen que el diseño responda a las preguntas u objetivos con las que se construyó la estrategia, que se defina claramente la población de inferencia —aquella sobre la que se sacarán conclusiones—, que reconozca e incluya la variabilidad del sistema —y cuánto se cuantifica o controla—, siendo estratégicos en la ubicación espacial y los tiempos de los muestreos, así como en el número de unidades de muestreo para que las comparaciones planeadas en el tiempo sean viables en cuanto a replicabilidad e independencia, y que haga explícitas las limitaciones y supuestos para que sean considerados en los análisis estadísticos y en la interpretación final de los resultados.

Dado que en la ejecución de un programa de monitoreo adaptativo el diseño original puede sufrir ajustes, ya sea porque los datos permiten hacerlo más eficiente o porque surgen nuevas preguntas, es importante documentar los criterios de ajuste y los resultados que los sustentan durante las evaluaciones periódicas del proyecto (Vallejo & Gómez, 2017). Esta trazabilidad contribuye a que los resultados sean comparables en el tiempo, a pesar de no responder a muestreos exactamente iguales.

## 4.2. Ruta propuesta para el diseño de muestreo

El diseño de muestreo consiste en definir las condiciones que se deben cumplir para la recolección de datos en campo o, incluso, a partir de fuentes secundarias, centrándose en definir la escala y resolución espacial (*dónde*) y temporal (*cuándo*) del muestreo, así como la asignación de unidades en el área de estudio y condiciones para la toma de datos (*cómo*). Un buen diseño de muestreo implica recolectar de manera rigurosa y precisa los datos (y metadatos) necesarios para generar las variables, análisis, modelos, indicadores y escenarios definidos previamente. En esta etapa es muy importante considerar la naturaleza de los datos, dado que esta va a determinar si se cumplen los supuestos o requisitos de los análisis estadísticos con los que se analizarán los datos una vez recolectados (Capítulos 6 y 7); por ejemplo, si la naturaleza de los datos es discreta o categórica o si responde a procesos que pueden seguir una distribución de probabilidad específica (normal, Poisson, binomial, logística, etc.). Un buen diseño de muestreo requiere usar la información recopilada en los pasos anteriores siguiendo los requisitos listados a continuación:

## 4.2.1. Conocer las condiciones iniciales

Para la formulación de un diseño de muestreo adecuado es necesario conocer el sistema que será estudiado. Es fundamental tener claridad sobre las condiciones iniciales, ya que esto permite conocer el rango de variabilidad del sistema. Conocer las fuentes de variabilidad y qué tan amplia es esta permite realizar un diseño que se enfoque en responder la pregunta principal del muestreo. Estas condiciones iniciales proporcionan información que influye en la forma en la cual se realizará la asignación de las unidades de muestreo (aleatorizada, estratificada o sistemática) y en los tiempos del mismo. En términos estadísticos, lo que se busca es aumentar el poder estadístico para evaluar una pregunta más allá de las fuentes de variabilidad; algo así como reducir el “ruido” de los procesos que no nos interesan, para aumentar la potencia de la “señal” de los que sí. Sin embargo, si este conocimiento del territorio no llega a establecer por completo las fuentes de variabilidad o su magnitud, se debe recurrir al mejor conocimiento disponible para establecer un primer diseño e ir haciendo ajustes con base en las primeras mediciones.

## 4.2.2. Definir las variables dependientes o de respuesta

Aunque las variables de interés se definen en el paso anterior (Capítulo 3), en esta etapa se precisa en qué forma se van a medir para evaluar las respuestas asociadas al objetivo de gestión o pregunta de investigación. La o las variables de respuesta deben ser sensibles a los factores que se están estudiando. Es importante tener claro qué tipo de variables se van a medir, si son cuantitativas o cualitativas. Por ejemplo, la abundancia o número de individuos de una especie es una variable cuantitativa, mientras que la especie a la que pertenece un individuo es una variable cualitativa. El tipo de variable determina el método de análisis de los datos (Capítulo 6).

Tanto para estudios de monitoreo científico como para monitoreo asociado a gestión es fundamental establecer desde el principio las variables que se sepa o sospeche son aptas para evaluar el objetivo principal del proceso. Para seleccionar las variables debe tenerse en cuenta la escala espaciotemporal a la cual responden. Por ejemplo, si se está haciendo monitoreo a la restauración, deben escogerse variables ecológicas que se espera van a responder a las acciones implementadas en el tiempo disponible para hacer el seguimiento (p. ej., abundancia de insectos, supervivencia de especies plantadas, etc.); o, en el caso de que se quiera determinar qué factores influyen en la selección de hábitat por las aves, es relevante determinar si el estudio involucra la época reproductiva o todo el año, ya que es probable

que los requerimientos de uso de hábitat sean distintos durante el período de nidificación y durante el período no reproductivo (Cueto, 2006).

Escoger variables poco sensibles a los cambios puede ser contraproducente para los objetivos del monitoreo y para las decisiones que se toman como resultado del mismo. La sensibilidad de una variable de respuesta depende de la escala de los procesos que la rigen y de cómo las variaciones de los factores que la afectan, predictores o no, interactúan para afectar la respuesta. Por ejemplo, el establecimiento y la sucesión de especies ocurren a escalas pequeñas, mientras que la migración y desplazamiento de los ecosistemas ocurren a escala grande (Hernández-Stefanoni, 2018). Establecer la escala espaciotemporal no solo permitirá una mejor planeación conceptual y logística, sino que facilitará la interpretación de los datos obtenidos en los pasos posteriores.

### **4.2.3. Definir las variables independientes o predictivas**

En esta etapa se deben identificar todos los factores que pueden tener influencia sobre la variable de respuesta, independientemente de si son de interés particular o no en la estrategia. Si el objetivo está relacionado con el monitoreo de una intervención puntual, es recomendable incorporar como factor en el diseño la presencia o no de la intervención; esto implica definir un “control” que se va a monitorear con el mismo esquema de muestreo que el área intervenida. Estos controles permiten medir el efecto de lo que se está estudiando, a pesar de la influencia de diferentes fuentes de variabilidad (aleatorias o no). Al igual que con la variable de respuesta, es importante identificar el tipo de variables predictivas; por ejemplo, la definición de variables continuas permite estructurar los muestreos en diseños a lo largo de gradientes. En general, se conocen como variables predictivas aquellas que son de interés directo de la pregunta y como covariables aquellas que, aunque no lo son, deben incluirse para hacer un análisis e interpretación correcta de los datos.

### **4.2.4. Definir y seleccionar el arreglo espacial y temporal de los sitios de muestreo**

Este requisito hace referencia a cómo se definen y cómo se ubican las unidades de muestreo en el espacio y en el tiempo, es decir, en dónde y cuándo se realiza la toma de los datos. Para la selección de áreas para el monitoreo, es importante definir la localización de las unidades de muestreo en donde se tomarán los

datos según la escala a la cual se espera que haya una respuesta, y el área sobre la cual se tomarán decisiones y se hará inferencia. Así mismo, debe tenerse en cuenta la participación de los actores en el territorio, junto con criterios logísticos, de representatividad y complementariedad sobre las variables predictivas, el área y tiempo total del estudio, el número de unidades y su replicabilidad y periodicidad de muestreo, criterios estadísticos, metodologías, equipos y personal disponible, entre otros.

Antes de seleccionar los puntos de muestreo tentativos, es decir, antes de ir a campo, es indispensable establecer el universo de muestreo; esto es, el área total de puntos posibles que son útiles para responder la pregunta u objetivo de interés. Si en la pregunta está incorporada una evaluación por categorías (p. ej., áreas control vs. áreas intervenidas, o por coberturas o hábitats), es necesario establecer el área potencial de muestreo para cada categoría; es decir, todas las posibles áreas que pueden ser el control y todas las posibles áreas intervenidas. La combinación de estas áreas potenciales de control e intervenidas será entonces el universo de muestreo. Esto es fundamental, dado que es sobre este universo donde se debe hacer la aleatorización del muestreo en concordancia con el diseño establecido.

Aunque el universo de muestreo se define inicialmente con base en las variables predictivas o independientes, ese universo suele verse modificado y reducirse por factores ajenos al fenómeno ecológico que se quiere explorar, tales como la accesibilidad (p. ej., seguridad territorial o prohibición de acceso por propietarios) y la probabilidad de permanencia del muestreo en el tiempo. El equipo investigador debe analizar qué tanto estas restricciones afectan la capacidad para responder la pregunta inicial y el poder estadístico del esquema de monitoreo; en lo posible, se sugiere ajustar el diseño para mantener su eficiencia. Si las restricciones no se pueden absorber ajustando el diseño, es fundamental reconocer las limitaciones de estas restricciones y se sugiere caracterizar el área que no va a estar representada en el muestreo. El análisis del área total con relación al área muestreada indicará qué tan representativo es el muestreo y qué tan sesgado es el estudio por motivos ajenos a los procesos a estudiar. No debe descartarse la posibilidad de ajustar la pregunta más que el muestreo, si las restricciones son tantas que se compromete la viabilidad de responder la pregunta inicial.

Basados en experiencias previas de investigación y en literatura relevante, se presenta la siguiente hoja de ruta para orientar la selección de sitios para el monitoreo de biodiversidad:

## **1. ANÁLISIS ESPACIAL TEMÁTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.** Es

recomendable comenzar el proceso elaborando un análisis que muestre de manera explícita aquellas características que son importantes para determinar la distribución de las variables independientes relacionadas con los objetos de monitoreo. Estas características pueden responder a gradientes de variación ambiental de origen natural o antrópico, corresponder a amenazas críticas sobre la biodiversidad, ser localizaciones puntuales donde se han

implementado esquemas de restauración o conservación, mostrar dónde se encuentran los ecosistemas y especies prioritarias para uso, manejo y conservación, entre otros criterios.

Las capas utilizadas durante estos análisis dependerán directamente de la pregunta de monitoreo generada, de las variables independientes identificadas para responder y de la extensión del área definida para el programa de monitoreo. La escala a la cual se realicen los análisis espaciales depende de la escala a la cual se esté planteando el monitoreo, así que, en un programa multiescalar en donde se pretenda contestar preguntas locales y regionales diferentes, los análisis también serán multiescalares. En estos casos, pueden existir preguntas individuales a escala local o una pregunta colectiva a escala regional, lo cual definirá el análisis temático de la zona de estudio.

En el Capítulo 2 se mencionan diferentes insumos espaciales que pueden ser útiles para la definición de estos productos. En cualquier caso, es indispensable que la escala de estudio sea congruente con los procesos ecológicos a estudiar. Por ejemplo, no tiene sentido preguntarse por los factores que afectan las comunidades de grandes mamíferos y realizar el monitoreo a una escala local, dado que la escala de efecto que afecta a esta comunidad es mucho más amplia.

**2. DEFINIR LAS UNIDADES DE MUESTREO.** Estas corresponden a las unidades independientes en las cuales se miden las variables sobre los objetos de interés. De acuerdo con los componentes de la escala, los cuales corresponden a grano y extensión, la unidad de muestreo representa el grano, es decir, el tamaño de la unidad mínima en la cual se realiza el muestreo y que ayuda a garantizar independencia entre unidades. Por ejemplo, en el caso de animales móviles, el área de las unidades de muestreo suele ser proporcional al área de rango de hogar de los individuos de la especie. Las especies de mayor tamaño o que recorren mayores distancias tienden a tener un grano mayor que las especies pequeñas y sedentarias. La unidad de muestreo depende de las características de cada especie, principalmente de su tamaño y movilidad. Es importante contar con el apoyo de expertos en las especies objeto de monitoreo que ayuden a definir este atributo en el diseño; principalmente se deben tener en cuenta áreas mínimas para las unidades de muestreo, distancias mínimas para considerar que dos unidades son independientes y factores de variabilidad que puedan afectar esta independencia. Por ejemplo, si se están estudiando animales que se desplazan usando caminos definidos, dos unidades de muestreo ubicadas a lo largo de un mismo sendero no serán completamente independientes, aunque estén separadas por las distancias apropiadas.

También es importante definir cuándo se va a hacer el monitoreo, tanto en duración como en frecuencia. La respuesta a esta pregunta se relaciona directamente con el objetivo o pregunta del monitoreo. Resulta importante tener en cuenta si se quiere considerar patrones o evaluar procesos que

tengan una dependencia temporal, tales como fenología, variación estacional, cambios en los ciclos de inundación, entre otros. El tamaño de las unidades de muestreo y el esquema temporal de muestreo deben obedecer a las escalas en que operan los componentes de la biodiversidad que se van a monitorear.

Para la definición de las unidades de muestreo también es importante que tengan sentido dentro de la vida diaria de las personas que harán parte del monitoreo; por ejemplo, incluir los lotes, veredas, cultivos o unidades de manejo de los actores involucrados e identificados en el paso 1 del ciclo (Capítulo 2). Esto es importante porque la gente involucrada visita sus parcelas o cultivos y el monitoreo puede hacer parte de sus actividades cotidianas. En cualquier caso, es clave mantener los argumentos previamente señalados, como el tamaño mínimo, la distancia mínima y la independencia.

Si el objetivo es monitoreo científico, el cual está asociado a entender un proceso o patrón, las unidades de muestreo deben ubicarse en correspondencia con esa pregunta. Si, por el contrario, obedece a la gestión y esta se hace por unidades definidas (propiedades, veredas, municipios), entonces el muestreo debe tener por objeto caracterizar lo que pasa en estas unidades. Por lo tanto, la definición de unidades de muestreo cambia de acuerdo con el tipo de objetivo.

- 3. DIVIDIR EL ÁREA EN UNIDADES DE MUESTREO.** Una vez definidas las unidades de muestreo y hecho el análisis espacial del área de estudio, se procede a sobreponer una grilla en donde el tamaño de cada celda —que puede variar de forma según el objetivo del estudio— coincida con el área que se determinó para cada unidad de muestreo —área de donde se obtiene una muestra de las variables que se considera representativa e independiente de las demás—. Esta grilla permite determinar el universo potencial de muestreo considerando únicamente procesos ecológicos. Si en este punto se conocen factores que restrinjan el universo final de cualquiera de las unidades de muestreo, es necesario ajustar la grilla y caracterizar las unidades excluidas para evaluar una posible pérdida de representatividad ecológica o sesgos sistemáticos respecto de la extensión del área de inferencia. Si las unidades de muestreo se definen en términos de áreas irregulares (propiedades, veredas, etc.), es necesario valorar si hay atributos de esas propiedades que afectan el peso (información que aporta) que tiene cada unidad en el análisis, para realizar ajustes, sea en número o en ubicación. Por ejemplo, establecer un instrumento de muestreo (p. ej., cámaras trampa) por propiedad no sería adecuado si en el universo de propiedades hay unas muy pequeñas y unas muy grandes. En este caso, y asumiendo que se quiere que cada instrumento tenga el mismo peso para caracterizar una propiedad, será necesario incluir más de un instrumento en propiedades más grandes para que cada instrumento sea igualmente representativo en el muestreo.

#### 4. DEFINIR EL NÚMERO DE UNIDADES DE MUESTREO (RÉPLICAS). El

número adecuado de unidades de muestreo para las variables se define de tal manera que el muestreo sea representativo. Esto significa que se cuenta con las unidades de muestreo independientes (réplicas) necesarias para representar la variabilidad del área de estudio. La definición del número de réplicas (replicación) es importante para caracterizar la variabilidad natural y permite extrapolar los resultados más allá de las unidades particulares sobre las que se harán las mediciones. Durante los análisis estadísticos para determinar si hay efecto de una intervención, se suele asumir un nivel de significancia estadística ( $\alpha$ ) que indica el grado de evidencia que deben tener los datos para establecer que hay un efecto de la intervención. Esto también se conoce como nivel de tolerancia a error tipo I: concluir que hay un efecto cuando en realidad no lo hay. Ante un nivel  $\alpha$  establecido, si los datos que se tienen son muy variables, la posibilidad de no detectar un efecto, aunque lo haya, es alta (error tipo II o probabilidad  $\beta$ ).

Tener muchas unidades de muestreo incrementa la posibilidad de detectar un efecto cuando efectivamente lo hay (poder estadístico), pero puede ser una cantidad innecesaria si el efecto es muy fuerte y se pudiese detectar con un número más reducido de unidades. Un número óptimo de unidades es aquel que reduce el error tipo II, pero considerando el mínimo necesario para concluir un efecto. Aunque en la teoría estadística se le ha dado más importancia al error tipo I, en estudios aplicados, y en el caso de monitoreo, el error tipo II puede ser mucho más importante, debido al principio de precaución, cuando una intervención sí tiene efecto, pero se decide que no: probabilidad  $\beta$ .

El atributo fundamental que define una réplica es la independencia. Esto quiere decir que el comportamiento de una medición en una unidad de muestreo no depende de la medición en otra unidad de muestreo. La independencia garantiza que cada punto de muestreo traiga información nueva para el análisis y que no haya redundancia. En términos prácticos, la independencia se garantiza con la aleatorización y considerando la escala a la cual dos puntos de muestreo pueden estar relacionados —no ser independientes y ser redundantes en cuanto a la información que aportan—. Volviendo al ejemplo de un monitoreo a escala de propiedades, una propiedad más grande, y más heterogénea, deberá tener más unidades para que la muestra sea representativa de esa propiedad. Si la ubicación de las muestras es aleatoria dentro de cada propiedad, estas serían independientes. Sin embargo, todas las unidades dentro de una misma propiedad no son del todo independientes, porque están siendo afectadas por los mismos procesos que generan la variabilidad entre propiedades (p. ej., políticas de manejo de la propiedad e historia de uso de los recursos naturales). Así, aunque las unidades serían réplicas para caracterizar lo que pasa dentro de la propiedad, son seudoréplicas (no independientes) para caracterizar lo que pasa entre propiedades. Establecer las réplicas necesarias para caracterizar el objeto de

monitoreo en cada una de las escalas de análisis pertinente es fundamental para garantizar la eficiencia y suficiencia del diseño de muestreo.

La definición del número de unidades de muestreo se establece durante el estudio de las condiciones iniciales y será más preciso si hay información previa sobre la variabilidad de lo que se va a medir y los factores que generan esa variabilidad. Diferentes tipos de diseño requieren diferente número y distribución de las unidades de muestreo, pero el tipo de diseño depende de la pregunta del estudio y su traducción en términos de análisis estadístico. Por ejemplo, el número de unidades de muestreo y su distribución espacial variará si el objetivo es detectar un gradiente ambiental o si está dirigido a detectar la diferencia entre dos áreas con diferente manejo.

Siguiendo con los pasos para seleccionar las unidades del análisis espacial temático de la zona de estudio, y a partir de la superposición de la grilla sobre el mapa temático, se genera la lista de unidades de muestreo potenciales a partir de la cuales seleccionar aquellas donde se van a realizar los muestreos. En la práctica, el número de unidades de importancia dependerá de la distribución de las mismas en la zona de estudio, pero qué tantas unidades se muestrean dependerá de los criterios de la investigación. Generalmente se escoge un número intermedio entre el mínimo necesario para tener el poder estadístico de responder la pregunta de investigación y el número máximo factible con los recursos disponibles.

Adicionalmente, el seguimiento de estas unidades, en el tiempo que requiere el monitoreo, es un caso especial que puede generar dependencia entre las unidades, por lo que su tratamiento analítico debe determinar si son medidas independientes o dependientes en el tiempo. Usualmente esta dependencia se relaciona con la frecuencia a la cual se implementan los eventos de monitoreo. Por ejemplo, si se hace un muestreo anual de una población de mamíferos y de microorganismos en el suelo, lo más probable es que las medidas en mamíferos sean menos independientes que las medidas de comunidades microbianas en un mismo sitio cada año. Debido a esta posible interdependencia, la frecuencia de medición debe garantizar que cada instancia de medición sea independiente en referencia al fenómeno que se quiere caracterizar. El riesgo de no evaluar cuando se puede garantizar independencia es el de tener un esfuerzo de muestreo muy alto, con muestras muy frecuentes para la caracterización de un fenómeno, pero con mucha información redundante que genera ruido y no ayuda en la detección eficiente de un efecto. En el caso contrario, se tienen muestras muy infrecuentes, de tal forma que se pierde la posibilidad de evaluar un efecto para un fenómeno de cambio más acelerado.

## 5. DEFINIR Y ASIGNAR EL ARREGLO ESPACIAL DE LAS UNIDADES DE

**MUESTREO.** Existen unos tipos generales de diseño de muestreo que difieren en el método aplicado para seleccionar las unidades de muestreo respecto del universo posible. A continuación se describen tres tipos construidos

con métodos probabilísticos, es decir, donde el azar es el principal criterio para seleccionar las muestras. Seleccionar unidades de forma aleatoria es fundamental para garantizar independencia y para que los análisis puedan realizarse con los métodos más comunes de análisis estadístico. Es por esto que hay que incorporar todos los factores que pueden limitar la selección de unidades antes de realizar cualquier selección aleatoria. Si la selección no se realiza aleatoriamente, es probable que no se cumplan los supuestos de los análisis estadísticos más comunes (Capítulo 6). Estos métodos tienen fortalezas y debilidades, pero si el objetivo es hacer inferencias a partir de una población o comunidad con base en muestras, es recomendable utilizar métodos probabilísticos de muestreo. Se recomienda consultar el trabajo de Daniel (2012) como una guía práctica para decidir qué método es más apropiado.

- » **MUESTREO ALEATORIO SIMPLE:** la asignación de unidades se realiza al azar, lo cual reduce la influencia sistemática de fuentes de variación no reconocidas o sesgos de los investigadores y aumenta el poder de los análisis estadísticos. Este tipo de asignación es adecuado cuando el área de muestreo es homogénea. En este muestreo todas las unidades del universo de muestreo tienen la misma probabilidad de ser elegidas. Cuando se proponga este diseño se debe tener cuidado y evitar sesgos en el muestreo, los cuales se pueden producir, por ejemplo, al ubicar todas las unidades de muestreo cerca de los caminos, debido a la facilidad de acceso, o en áreas con características que las hagan más disponibles para la medición de las variables.
- » **MUESTREO SISTEMÁTICO O REGULAR:** las unidades de muestreo se distribuyen en intervalos regulares, según un criterio preestablecido y generalmente a partir de un punto de inicio elegido al azar. Este muestreo es adecuado cuando la presencia de un elemento afecta alguna propiedad de interés de los elementos más próximos o cuando se quiere obtener representatividad y no hay factores que originen patrones de distribución en el universo de unidades de muestreo.
- » **MUESTREO SECTORIZADO O ESTRATIFICADO:** se utiliza cuando un factor permite diferenciar el universo de muestreo en estratos o sectores. En cada estrato, y dependiendo de sus características, se mide un número similar de unidades, siguiendo alguno de los criterios anteriores para asegurar representatividad de cada estrato. La aleatorización en este tipo de muestreos puede darse en la selección de estratos o en la selección de unidades dentro de cada estrato; lo importante es que se tenga representatividad en el nivel que se quiera realizar el análisis. Es importante mencionar que, aunque los métodos analíticos de comparación de una medida en categorías (p. ej., análisis de varianza) son más poderosos cuando las réplicas en los grupos a comparar son iguales, uno de los motivos por los cuales se promueve que las muestras sean balanceadas

—con igual número de réplicas por categoría— es por los supuestos de homocedasticidad u homogeneidad de varianzas. Si el muestreo no es balanceado, pero el supuesto de homocedasticidad se cumple, no es tan problemático hacer una comparación entre categorías, aunque el poder de detección de pruebas paramétricas sea menor. De hecho, una estrategia de muestreo puede ser incrementar las réplicas en áreas donde se sabe desde antes que la variabilidad es mayor, para así tener una mejor estimación de la variabilidad y reducir el error de muestreo en esas áreas. Así mismo, en muestreos desbalanceados o con heterocedasticidad se pueden realizar aproximaciones analíticas con modelos lineales generalizados, considerar en los modelos la heterocedasticidad y seleccionarlos a partir de criterios de información de Akaike (Capítulo 6).

**6. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE UNIDADES.** En este punto es importante socializar el proceso de selección de unidades con los actores que van a participar en el monitoreo para definir criterios de inclusión o exclusión de las mismas. Estos criterios incluyen factores logísticos como facilidad de acceso, costos de desplazamiento y seguridad, así como factores intrínsecos al monitoreo, como antecedentes de investigación, intereses particulares de las comunidades locales por ciertos lugares, la distancia mínima requerida entre unidades y la disponibilidad de equipo humano cerca de cada unidad. Al finalizar esta etapa, la lista de unidades de muestreo potenciales probablemente sea más corta y no represente la totalidad del área de estudio, por lo que es importante evaluar también las unidades excluidas para verificar posibles sesgos sistemáticos, que deben ser reconocidos e incorporados en el proceso de análisis e interpretación de resultados. Lo ideal es que este tipo de factores se incluyan antes de realizar la selección de unidades definitivas.

De la lista reducida de unidades potenciales se debe seleccionar en cuáles hacer el monitoreo. Para zonas de estudio pequeñas este proceso puede ser muy sencillo; sin embargo, cuando el estudio cubre grandes áreas puede ser necesario generar una lista de unidades priorizadas de formas más complejas, por ejemplo mediante análisis de representatividad y complementariedad. Estas listas permitirían la identificación interactiva de sitios prioritarios según criterios de optimización y de acuerdo con el objetivo de monitoreo, lo que es muy útil en caso de necesitar eliminar, adicionar o realizar cambios en las unidades de muestreo. Si las unidades no son independientes, es importante reconocerlo para considerarlo en el análisis (Capítulo 6).

**7. VERIFICACIÓN EN CAMPO Y SELECCIÓN DE UNIDADES PARA EL MONITOREO.** Es muy importante hacer una verificación en campo de la información consignada en el análisis espacial y en las discusiones, para seleccionar las unidades de muestreo realizadas hasta este punto y con

el fin de que el equipo que hará el trabajo de campo pueda cerciorarse de que las unidades elegidas realmente cumplen las condiciones requeridas para el muestreo. Esta selección de unidades candidatas para el monitoreo y su verificación en campo generalmente no se incluye en los presupuestos, ni se cuenta como algo importante. Sin embargo, una verificación puede garantizar la reducción de problemas logísticos en campo y la evaluación de la viabilidad de hacer el muestreo en las zonas elegidas, entre otros problemas que solo se pueden detectar en terreno.

**8. DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO.** La selección de sitios para monitoreo se debe documentar de manera detallada desde el inicio, con el fin de asegurarse de que se hizo de forma transparente, repetible y justificable. En cada etapa se recomienda ir actualizando y revisando el mapa de la zona de estudio con la información que se va recolectando. Adicionalmente, los muestreos de los objetos de monitoreo pueden estar acompañados de descripciones cuidadosas de los sitios de muestreo, incluyendo fotos y mediciones de variables adicionales, como, por ejemplo, de condiciones climáticas, que tienen que quedar registradas de forma ordenada en los metadatos de cada evento (Capítulo 9).

**9. EVALUACIÓN Y AJUSTES.** Aunque idealmente los sitios seleccionados para el monitoreo no deberían cambiar una vez este inicie, en la realidad existen muchos motivos por los cuales esto puede no ser posible. Por ejemplo, se tiene una unidad designada como bosque y este es talado, el propietario del lugar donde se está muestreando no desea seguir participando en el proyecto, el lugar resultó no ser apropiado para la especie que se está siguiendo, aparecen actores armados u otras problemáticas sociales. Por lo tanto, entre periodos de muestreo es importante evaluar si las unidades elegidas están funcionando o si es necesario eliminar, añadir o cambiar alguna. Esto se hace dentro de un marco de monitoreo adaptativo en donde se prioriza mantener la integridad del conjunto de datos para poder dar respuesta a las preguntas que guiaron el diseño del sistema de monitoreo (Capítulo 12).

## 4.3. Casos de estudio

A continuación, se muestran tres casos de estudio donde el diseño de muestreo fue clave para que las estrategias de monitoreo recolectaran datos que realmente permitieran contestar las preguntas o cumplir los objetivos con los que fueron construidos.

## Monitoreo de calidad de agua a partir de ADN ambiental en Guyana Francesa<sup>1</sup>

Para el monitoreo de calidad de agua en Guyana Francesa, se implementó un programa de monitoreo de peces a partir de ADN ambiental (Murienne et al., 2019). Este estudio estimó la diversidad de peces a partir de muestras de ADN en agua, incluyendo muestras en todo el territorio de Guyana Francesa y evaluando el impacto de las actividades humanas sobre la biodiversidad acuática. Para esto, se comparó la diversidad entre múltiples cuerpos de agua (ríos, quebradas, etc.) sin perturbación humana (lejanas a infraestructuras antropogénicas) y bajo perturbación humana (cerca a poblaciones, minas, etc.).

- » *Variable de respuesta (dependiente):* diversidad de peces estimada a partir de ADN ambiental.
- » *Variables predictivas (independientes):* cuerpos de agua sin y con perturbación humana (variable categórica); covariables: turbidez, oxígeno disuelto y pH (variables cuantitativas).
- » *Unidades de muestreo:* cada cuerpo de agua representó una unidad de muestreo. La estimación de la diversidad de peces en cada río se obtuvo a partir de dos réplicas, que consistieron en la filtración de agua por treinta minutos empleando un filtro de 0,45 um. Se definieron dos réplicas por río a partir de una estandarización previa que determinó que este era un número costeeficiente para la detección de especies de peces mediante ADN ambiental (Cantera et al., 2019).
- » *Número de unidades de muestreo (réplicas):* se seleccionaron cuerpos de agua cubriendo

geográficamente toda el área de estudio (Guyana Francesa), incluyendo unidades con y sin perturbación. En total se seleccionaron 209 unidades de muestreo: 98 bajo perturbación humana y 110 sin perturbación.

» *Asignación espacial de unidades:* el muestreo se realizó siguiendo un diseño sistemático que maximiza la cobertura geográfica, ajustado a la viabilidad logística y al acceso a la zona.

En 2014 y 2015, articulado al muestreo de ADN ambiental, se tomaron muestras y estimaciones directas de parámetros físicos del agua como turbidez, oxígeno disuelto y pH en cada unidad de muestreo. Estas variables amplían la información del sitio y contribuyen a la interpretación de los resultados, que corresponden al listado de especies de peces y sus abundancias relativas por unidad. Un estudio con ADN ambiental requiere algunas medidas adicionales en el diseño de muestreo propias de la técnica. Por ejemplo: 1) controles negativos desde la toma de la muestra y durante cada paso del procesamiento, 2) adecuada preservación de la muestra para evitar la degradación o contaminación del ADN y 3) réplicas técnicas de extracción y amplificación de ADN. Murienne et al. (2019) describen cuáles son las medidas que responden a estos requerimientos, haciendo el estudio altamente replicable. Los resultados de este programa están publicados en diferentes portales web y actualmente permiten su accesibilidad a tomadores de decisiones y a la comunidad interesada.

<sup>1</sup> Por: Nathalie Baena-Bejarano, Paola Montoya Valencia, Mailyn Adriana González Herrera, Nicolás D. Franco-Sierra y Paola Pulido-Santacruz.

## Monitoreo de poblaciones de mamíferos medianos y grandes en bosque seco tropical

Caja 4.2.

En este ejemplo se implementó una estrategia de monitoreo para entender las consecuencias de la pérdida y fragmentación del bosque seco para los mamíferos medianos y grandes. Se utilizó un mapa de bosque/no bosque y se sobrepuso una grilla de celdas de 1 x 1 km, las cuales definieron las unidades de análisis potenciales para el monitoreo. En cada unidad se evaluaron características de paisaje y se determinaron categorías iniciales derivadas del porcentaje de bosque en cada celda. A partir de esto, se categorizaron unidades de análisis de cobertura de bosque baja, media y alta. Sobre este insumo, se sobrepusieron los recorridos en campo que se realizaron para iniciar el contacto con las comunidades locales. Con la combinación de esta información,

se eligieron unidades para el monitoreo de biodiversidad, teniendo en cuenta que estas eran una muestra representativa del gradiente de cantidad de bosque del paisaje de la región.

- » *Variable de respuesta (dependiente):* probabilidad de ocupación, riqueza y diversidad de mamíferos medianos y grandes.
- » *Variables predictivas (independientes):* cantidad de bosque (variable continua).
- » *Unidades de muestreo:* celdas de 1 x 1 km con una cámara trampa por celda.
- » *Número de unidades de muestreo (réplicas):* 120 celdas seleccionadas, 120 cámaras trampa instaladas.
- » *Asignación espacial de unidades:* muestreo aleatorio simple.

## Monitoreo de la restauración ecológica del bosque seco tropical en Huila<sup>2</sup>

Caja 4.3.

El proceso de restauración que se adelanta en el área de compensación de la hidroeléctrica El Quimbo (Departamento del Huila) comprende diversas estrategias para

la recuperación de la cobertura vegetal del área. Este ejemplo se centra en la estrategia de nucleación, la cual consiste en plantar árboles de diferentes especies nativas en

<sup>2</sup> Por: Angélica Hernández Palma y Carolina Alcázar

parcelas de 32 x 32 m. Se quería responder preguntas importantes en cuanto al monitoreo a largo plazo, las cuales impactan tanto el esfuerzo como el valor total del programa de monitoreo. Entre las preguntas a responder se encontraban: ¿cuántas unidades de muestreo se deben monitorear? y ¿dónde se deben medir?

- » *Variables de respuesta* (dependientes): 1) cambio promedio de crecimiento (tasa promedio de crecimiento entre los tres censos realizados a la fecha), 2) cambio absoluto en crecimiento (crecimiento total entre el primer y el último censo) y 3) ganancia y pérdida neta de biomasa.
- » *Variables predictivas* (independientes): diámetro y altura (variables cuantitativas).
- » *Unidades espaciales de muestreo*: parcelas de 32 x 32 m se trata como una unidad.
- » *Unidades temporales de muestreo*: tres censos realizados a lo largo de 18 meses.
- » *Número de unidades de muestreo (réplicas)*: 81 parcelas con tres tratamientos diferentes (Tabla 4.1). Se sembraron 10 584 plantas, las cuales corresponden a seudoréplicas para la comparación entre tratamientos, pero con réplicas para la caracterización de cada parcela.

A partir de los datos de los censos se estimaron los parámetros requeridos para realizar pruebas de poder, con el fin de generar recomendaciones en cuanto al tamaño de la muestra. El tamaño del efecto estimado para cada componente del diseño (tratamientos, parcelas, especies) y cada variable estudiada varió considerablemente según la combinación de ambos. Por consiguiente, el tamaño mínimo de muestra varió de la misma

manera; es decir que, para efectos pequeños el tamaño de muestra requerido es mayor, debido a que se requieren más muestras para detectar dicho efecto. La Figura 4.1 muestra los resultados de las pruebas de poder para cada combinación de variable y componente. El número de individuos a monitorear en cada tratamiento varió entre 179 y 10 321 según la variable utilizada (fila superior). En cuanto al número de parcelas, los resultados indican que se requieren entre 8 y 220 para detectar un efecto entre los tratamientos (fila media). Finalmente, para el número de individuos por especie, los resultados de las pruebas de poder sugieren monitorear entre 2 y 77 individuos por especie en cada parcela (fila inferior).

Para este ejemplo, se sugiere realizar el seguimiento de por lo menos 442 individuos por cada tratamiento (1326 individuos en total). Estos individuos deben estar distribuidos de forma uniforme en por lo menos 16 parcelas por tratamiento (~ 27 individuos por parcela por tratamiento). De la misma manera, estos 27 individuos deben estar distribuidos de tal modo que se incluyan por lo menos tres individuos por cada especie sembrada. Distribuir el muestreo de esta forma ayudará a recoger la mayor cantidad de varianza que se encuentra en cada componente del diseño (tratamientos, parcelas, especies) para detectar los efectos presentes. Finalmente, en cuanto a las recomendaciones sobre dónde medir las variables, se recomendó que la ubicación de las parcelas se definiera de forma tal que representen toda el área de trabajo y las variaciones que se puedan encontrar dentro de la misma, en términos de pendientes y proximidad a remanentes de bosque y a cuerpos de agua, entre otros criterios.

Tratamiento	Descripción	No. spp	No. inds./ parcela	No. inds. total	Datos diámetro	Datos altura
Nucleación intensiva	Cuatro cuadrantes sembrados, sin remoción de suelo previo a la siembra.	29	196	5292	3257	3373
Nucleación intermedia con remoción	Dos cuadrantes sembrados, con remoción mecánica del suelo previo a la siembra.	14	98	2646	1756	1756
Nucleación intermedia sin remoción	Dos cuadrantes sembrados, sin remoción mecánica del suelo previo a la siembra.	14	98	2646	1799	1798
	Total	392	10 584	6812	6927	

Tabla 4.1.

Descripción de los datos de monitoreo\*

\* Corresponde a la estrategia de nucleación en pastizales para la recuperación de la cobertura vegetal del área de compensación de la hidroeléctrica El Quimbo en el departamento del Huila.

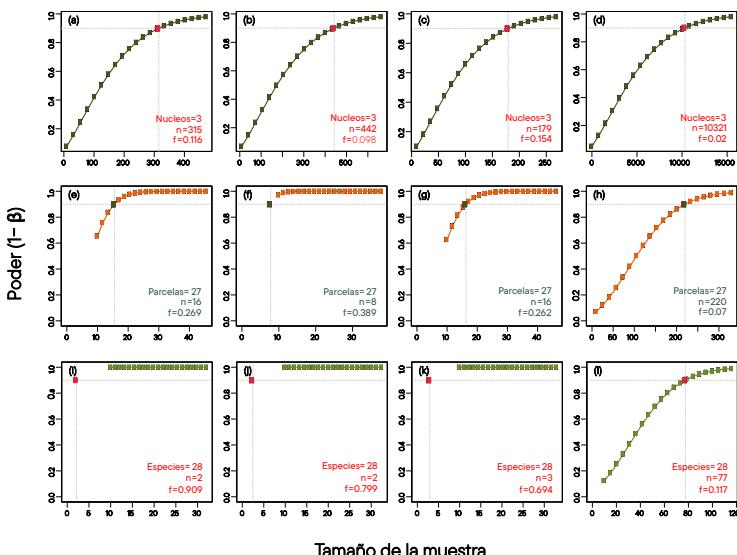


Figura 4.1.

Relación entre tamaño de muestra y poder de la prueba\*

\* Requerido para detectar un efecto significativo en las variables de respuesta (columnas: diámetro, altura, ganancia de biomasa, pérdida de biomasa) en cada componente del diseño (filas: tratamientos, parcelas, especies) de la estrategia de nucleación del plan piloto del proyecto de restauración ecológica del Quimbo.

# 4.4. Retos y recomendaciones para implementar este paso

- » El diseño de muestreo debe integrar criterios de robustez estadística con la realidad de los territorios, considerando además el alcance, logística, presupuesto y cronograma de la estrategia (Capítulo 11). Priorizar la parte estadística sobre la logística puede terminar en diseños que no son viables de implementar, pero lo contrario puede terminar en poderes de inferencia bajos que no permitirán cumplir los objetivos del proceso.
- » De ser necesario, se puede ajustar el diseño a medida que los proyectos continúan en el tiempo. Lo ideal es planear un diseño óptimo que permita tener un margen de maniobra para ajustar durante la implementación y lograr así un diseño ajustado que siga respondiendo a la pregunta u objetivo.
- » Trabajar con las limitaciones de la realidad no debe demeritar la implementación de este paso de manera robusta y con el apoyo de expertos, tanto en estadística como en la ecología de los objetos de monitoreo. Luego se busca la adaptación a las restricciones de presupuesto, accesibilidad, seguridad, etc.
- » Para implementar este paso con comunidades, se debe tener en cuenta el manejo de lenguaje apropiado para incluir estos conceptos, por ejemplo, relacionándolos con situaciones cotidianas de los actores involucrados.
- » Se debe ser cuidadoso al asignar las unidades de muestreo y no confundir el nivel en el que hay que hacer replicación, para así mantener la independencia y evitar la seudoreplicación. Si esto ocurre, debe hacerse evidente en el análisis de datos.

# Referencias

- Cantera, I., Cilleros, K., Valentini, A., Cerdan, A., Dejean, T., Iribar, A., ... & Brosse, S. (2019). Optimizing environmental DNA sampling effort for fish inventories in tropical streams and rivers. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
- Cueto, V. R. (2006). Escalas en ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. *El Hornero*, 21(1), 1-13.
- Daniel, J. (2012). *Sampling essentials: Practical guidelines for making sampling choices*. AGE.
- Hernández-Stefanoni, J. L. (2018). Todo depende del cristal con el que se mira: la escala en ecología. *Desde el Herbario CICY*, 10, 60-65.
- Murienne, J., Cantera, I., Cerdan, A., Cilleros, K., Decotte, J. B., Dejean, T., ... & Brosse, S. (2019). Aquatic eDNA for monitoring French Guiana biodiversity. *Biodiversity Data Journal*, 7.
- Vallejo M., & D. Gómez. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47.



| Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Recolección de datos para el monitoreo de biodiversidad

---

Angélica Díaz-Pulido<sup>1</sup>, Orlando Acevedo-Charry<sup>1,2</sup>, Andrés R. Acosta Galvis<sup>1,3</sup>, Ana Belén Hurtado-M<sup>1</sup>, Nathalie Baena-Bejarano<sup>1</sup>, Kevin G. Borja-Acosta<sup>1</sup>, Carolina Castro-Moreno<sup>1</sup>, Amalia Díaz<sup>1</sup>, Nicolás D. Franco-Sierra<sup>1</sup>, Sandra P. Galeano<sup>1</sup>, Daniel García-Villalobos<sup>1</sup>, Fabian Camilo Garzón-R<sup>1</sup>, Laura Giraldo-Martínez<sup>1</sup>, Roy González-M<sup>1,4</sup>, Mailyn A. González<sup>1</sup>, Carolina Gómez-Posada<sup>1</sup>, Angélica María Hernández Palma<sup>1,5</sup>, Yenifer Herrera-Varon<sup>1</sup>, Daniela Martínez-Medina<sup>1</sup>, Paola Montoya Valencia<sup>1</sup>, Jhon C. Neita<sup>1</sup>, Jhon Edison Nieto<sup>1,6</sup>, Natalia Norden<sup>1</sup>, David Ocampo<sup>1,7</sup>, Luz Ochoa<sup>1</sup>, María Helena Olaya-Rodríguez<sup>1</sup>, Paola Pulido-Santacruz<sup>1,8</sup>, Juan Carlos Quijano-Tristancho<sup>1</sup>, Adriana Restrepo-I<sup>1</sup>, Juan Carlos Rey Velasco<sup>1</sup>, Nicolás Reyes-Amaya<sup>1</sup>, Laura Viviana Salinas-V<sup>1</sup>, Andrés F. Suárez Castro<sup>1,9</sup>, Edwin Tamayo Peña<sup>1</sup>, Juan Sebastián Ulloa Chacón<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Instituto Humboldt; <sup>2</sup> University of Florida; USA.; <sup>3</sup> Batrachia; <sup>4</sup>Universidad del Tolima; <sup>5</sup> SIT Consulting - Science, Innovation & Technology; <sup>6</sup> IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; <sup>7</sup> Princeton University, USA.; <sup>8</sup> Universidad del Rosario; <sup>9</sup> Griffith University, Australiaa

# 5.1. Introducción

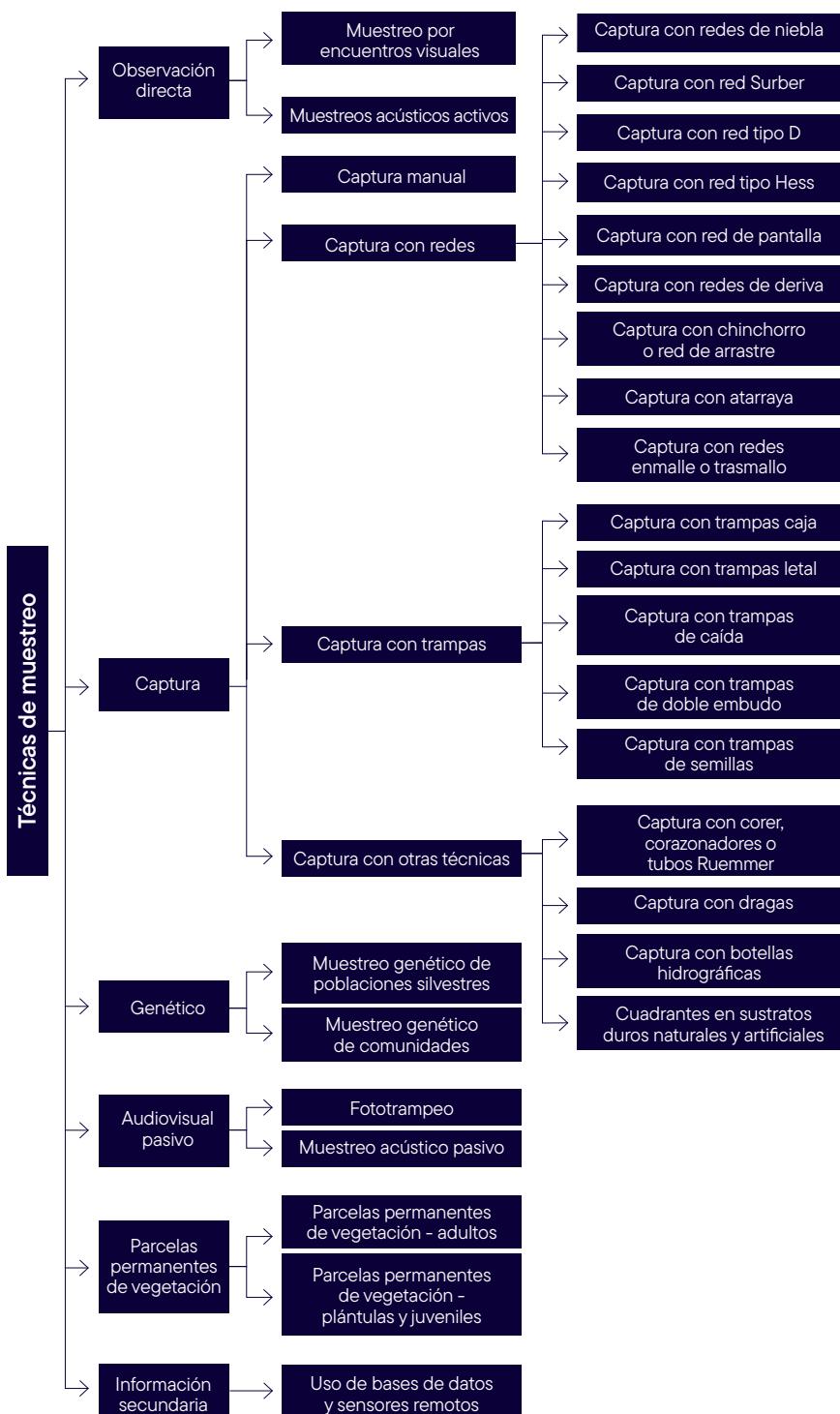
La recolección de datos para el monitoreo constituye el primer paso en la fase de implementación, posterior a los tres pasos de planeación. En este se aterriza el diseño de muestreo ajustando las expectativas a la realidad. Para esto se implementan las técnicas de campo más apropiadas, siguiendo las recomendaciones de expertos, criterios éticos de manejo de vida silvestre y de trabajo con comunidades humanas; se utilizan el diseño y los protocolos de campo de forma pertinente; y se documentan los mecanismos de control de calidad aplicados en la colecta de datos y metadatos.

Para la correcta implementación de los protocolos de monitoreo en campo se deben haber cumplido cuatro lineamientos principales: 1) asegurar su permanencia y monitoreo en el tiempo con base en una adecuada selección de sitio; 2) realizar un diseño de muestreo que responda a las características ecológicas del sistema y la pregunta de investigación, con un marco estadístico adecuado; 3) definir un tamaño de muestra de acuerdo con la pregunta ecológica a responder; y 4) seleccionar y medir las variables que mejor describan los atributos del objeto de estudio en respuesta a la pregunta de investigación y los indicadores a evaluar (Capítulos 2-4).

Como se describió detalladamente en el capítulo anterior, la recolección de datos en campo se puede llevar a cabo con diferentes diseños de muestreo (p. ej., aleatorio, sistemático o estratificado) y, en cualquiera de estos esquemas, se pueden implementar diversas técnicas de muestreo, que en este capítulo hemos clasificado en seis: observación directa, captura, genético, audiovisual pasivo, en parcelas permanentes de vegetación y de información secundaria (Figura 5.1). Las técnicas de muestreo más comunes se describen en las fichas disponibles en el Anexo de este capítulo, con una pequeña descripción de la técnica, los grupos taxonómicos en los que se usa, los niveles de organización biológica para los que provee datos (genes, poblaciones, comunidades y/o paisaje) y, finalmente, unas recomendaciones respecto de la técnica y según su aplicación al estudio de grupos taxonómicos particulares. El resto del capítulo trata sobre procesos importantes en este paso del ciclo de monitoreo, que son independientes de la técnica utilizada o el grupo estudiado.

La ubicación, el esfuerzo del muestreo, los datos y muestras a recolectar deben ser establecidos de acuerdo con los objetivos de cada estudio. Si la finalidad del estudio es tener datos de monitoreo a largo plazo, se deben elegir lugares con alta probabilidad de mantenerse accesibles y con una clara demarcación de los sitios de muestreo, para asegurar su repetición en el tiempo y reducir los sesgos en los resultados del monitoreo (Ralph et al., 1996). La adecuada recolección de datos en campo asegura la calidad de los mismos, reduce la incertidumbre e

identifica los sesgos; es el paso de entrada para el análisis y modelamiento que contempla métodos y aplicaciones en el contexto del monitoreo de la biodiversidad en el siguiente paso (Capítulo 6).



**Figura 5.1.**

Técnicas de muestreo para la recolección de datos de monitoreo de biodiversidad

## 5.2. Estándares para la toma y organización de los datos

Actualmente existen iniciativas tanto a nivel nacional como internacional que buscan facilitar el acceso y la publicación de datos de biodiversidad sin restricciones de uso, lo que garantiza su permanencia en el tiempo y promueve la retroalimentación. La publicación de estos datos implica un proceso de estandarización, el cual permite utilizar el mismo lenguaje para reducir redundancia, duplicidad y heterogeneidad en los términos utilizados para describir los datos colectados. Esta estandarización facilita posteriormente su consumo e integración, lo que a su vez se ve reflejado en los mecanismos disponibles para consulta y descarga.

Existe una gran variedad de lineamientos que permiten la estandarización y posterior publicación de datos de monitoreo (Capítulo 9) y es recomendable la definición de los datos obligatorios, recomendados y complementarios, a partir tanto de guías metodológicas estandarizadas (p. ej., Villarreal et al., 2006), como de considerar las necesidades e intereses de los proyectos. También es importante asegurar que existe un conocimiento previo en este aspecto por parte de las personas que van a campo, para de esta forma garantizar que se capturen los datos mínimos que se requieren para completar las plantillas definidas y necesarias para realizar análisis posteriores.

Diferentes entidades a nivel global han desarrollado aplicaciones de código abierto para crear formularios personalizados que sirven para ingresar datos de monitoreo: FormHub, Open Data Kit, Cybertracker, KoBoToolbox, Spatial Monitoring and Reporting Tool (Smart), y, gracias al desarrollo de sencillas interfaces de usuario, estas son de fácil uso en esquemas de monitoreo participativo, e incluso pueden utilizarse aplicaciones móviles que permiten recolectar datos sobre biodiversidad sin conexión y con portal en Colombia, como: eBird (para aves) y Naturalista (para todos los grupos taxonómicos). Estas aplicaciones facilitan la captura y documentación de los datos y disminuyen la probabilidad de encontrar errores humanos en pasos como la toma de coordenadas y documentación de fechas. De la misma manera, existen protocolos que permiten estandarizar la forma como se documenta la información del evento de recolecta y el uso de los dispositivos con los que se toman las coordenadas (Escobar et al., 2015). En los casos en donde se usan formatos u hojas de cálculo para documentar los datos, se recomienda hacer revisiones para identificar errores en el formato de fechas, de or-

tografía (que puede generar duplicidad), variedad de formatos para documentar un mismo término (p. ej., el nombre de los colectores en varios formatos: Carlos Andrés Cuervo, C. Cuervo, Carlos A. Cuervo) y caracteres ocultos (Capítulo 9).

Adicionalmente, es importante que todos los conjuntos de datos generados cuenten con un metadato asociado en el que se describe el porqué, quién, qué, cuándo, dónde y cómo de los datos. Se recomienda que los metadatos sean lo más claros, concretos y completos posible, ya que brindan el contexto necesario para poder entender la información que se colecta y que posteriormente se publicará; por lo tanto, son claves para su intercambio y reutilización. Para los metadatos también existe una variedad de estándares y su selección depende del tipo de datos y de la herramienta a través de la cual se desee publicar (Capítulo 9).

## 5.3. Uso e importancia de las colecciones biológicas en programas de monitoreo

Más allá de un espacio para preservar una muestra de la diversidad, las colecciones biológicas son hoy en día una fuente de información invaluable en el tiempo para el desarrollo de una amplia variedad de estudios que pueden llegar a impactar a diferentes escalas las investigaciones científicas y la sociedad. En particular, las colecciones nos permiten realizar el monitoreo en localidades que fueron muestreadas en el pasado y, aunque puede que no se empleen las mismas técnicas de muestreo, nos permiten determinar cambios, principalmente en términos de la presencia o ausencia de especies. De hecho, se espera que en el futuro las colecciones biológicas se sigan transformando en cuanto a su misión más pura de describir y entender la biota y lleguen a contestar preguntas que tal vez aún no han sido formuladas.

Los especímenes depositados en colecciones biológicas son ampliamente utilizados, entre otros proyectos, para documentar cambios en el tiempo en las comunidades, poblaciones, especies y el medio ambiente, ya sea como respuesta a presiones ambientales naturales o debido a actividades antrópicas, tanto de impacto negativo, como de manejo y recuperación. De esta manera, combinados con procedimientos desarrollados recientemente para corregir sesgos, los especímenes de museo pueden proporcionar invaluable datos espacio-temporales y convertirse en pilares fundamentales para los programas de monitoreo.

Las colecciones biológicas contienen registros derivados de diferentes estudios, incluyendo inventarios nacionales, regionales y locales, así como de levantamientos de línea base, efectuados, por ejemplo, en áreas propuestas o proyectadas para ser convertidas en figuras de protección territorial o intervenidas por proyectos agrícolas o de desarrollo. En este sentido, tales ejercicios dan paso a la ejecución de programas de monitoreo destinados a evaluar los cambios temporales y espaciales en la composición y ensamblaje de especies. De igual forma, los especímenes ofrecen un marco de referencia que permite evaluar cambios temporales en la extensión de su distribución geográfica, tallas corporales, composición de sexos y estructura etaria, así como información molecular de especies y poblaciones que existieron o existen en un espacio y tiempo determinados, presencia de parásitos y patógenos, dinámica temporal y espacial de enfermedades, o incluso acumulación de compuestos tóxicos.

La información asociada a los especímenes de las colecciones biológicas ha sido clave en el desarrollo de monitoreos con una amplia gama de propósitos. Así, por ejemplo, el desarrollo de evaluaciones globales de especies, como insumo para listas rojas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), que se han apoyado en la información proveniente de especímenes colombianos, como es el caso de anfibios depositados en colecciones y museos de historia natural y que produjeron un efecto dominó en otras iniciativas para la conservación y monitoreo de los anfibios a nivel regional, nacional y global (Rueda et al., 2004; Castro et al., 2010). Los especímenes de museo pueden incluso aportar al conocimiento y vigilancia de la salud pública a través de la secuenciación de partes del genoma de parásitos causantes de enfermedades de importancia médica, como los tripanosomas, que se pueden encontrar en colecciones de tejidos y en los mismos especímenes de museo. Más recientemente, las colecciones multimedia, como las colecciones de sonidos, entran en escena para vincular en los programas de monitoreo tanto los rasgos fenotípicos que ayudan a describir la biodiversidad como aspectos comportamentales y hasta estéticos que vinculan diferentes ramas del conocimiento.

Las colecciones biológicas proporcionan una herramienta incomparable en términos de cobertura histórica. Así, por ejemplo, encontramos un creciente uso de especímenes para documentar los impactos del cambio climático en los seres humanos y en la naturaleza (Lavoie, 2013). Luego de comparar y analizar más de treinta estudios de los últimos diez años donde se evalúan características fenológicas para medir el impacto de cambio climático, Jones y Daehler (2018) encontraron que los datos provenientes de especímenes de herbario producen resultados de la misma calidad que aquellos provenientes de hallazgos hechos directamente en campo, con la ventaja de poder evaluar cambios a lo largo de grandes períodos de tiempo. Su principal conclusión es que, a medida que las temperaturas globales siguen aumentando, los especímenes de herbario incrementarán su relevancia para entender el efecto del cambio climático en la composición de las comunidades, distribución de especies, coevolución de plantas y sus polinizadores, grupos

funcionales y relaciones filogenéticas. Entre otros estudios de cambio climático, se resalta el trabajo realizado en aves migratorias durante los últimos 40 años, que, tras examinar más de 70 000 especímenes recolectados por décadas, identificó que las especies se han encogido como respuesta al calentamiento global (Weeks et al., 2020). Esto ha permitido comenzar a explorar cómo los cambios morfológicos pueden ser predictores de respuestas fenotípicas al cambio climático y cuáles son sus posibles consecuencias en la fisiología y comportamiento de los organismos.

Los especímenes de colecciones biológicas también pueden brindar información sobre la acumulación de contaminantes ambientales en diferentes períodos de tiempo en un lugar determinado. Así, por ejemplo, en las plumas de las aves de museos es posible identificar y cuantificar residuos de plaguicidas inorgánicos que pueden contener contaminantes como arsénico y mercurio (Strekopytov et al., 2017). También se ha evaluado mercurio a partir de ejemplares disponibles en colecciones ictiológicas, prueba de su efectividad en detectar la presencia de este metal pesado en ejemplares con más de 60 años de historia de preservación, e incluso se pueden hacer comparaciones, con esta misma ventana temporal, entre localidades expuestas diferencialmente a la contaminación con mercurio (Hill et al., 2010). La disponibilidad de ejemplares históricos provee así de una línea base única para estudios de contaminación ambiental.

A pesar de que a menudo se centra la atención en los especímenes de una colección, los datos asociados a estos representan un eje fundamental en los programas de monitoreo y evaluación. Es por esto que las metodologías de recolección y almacenamiento de datos deben ser cada vez más estandarizadas, de manera que al analizar dicha información se pueda tener un panorama de los cambios y el estado de las especies y los ecosistemas en el tiempo. En este sentido, las colecciones biológicas deben articularse de manera sincrónica con el área informática y establecer flujos de trabajo ágiles, modernos y adecuados que permitan salvaguardar la información para que esta sea procesada, curada y dispuesta de forma estructurada para los análisis de cambios a través del tiempo y el espacio que se quieran realizar.

## 5.4. Trabajo con comunidades humanas

El enfoque participativo en esquemas de monitoreo de biodiversidad ha permitido articular a las comunidades locales con profesionales, técnicos e investigadores; generar conocimiento sobre la biodiversidad del área; y empoderar en la conservación, restauración o uso sostenible de los territorios (Hurtado & Soto, 2017). El monitoreo participativo es

una estrategia que genera sinergia y aprendizaje mutuos, integración del conocimiento local y un interés comunitario en la transformación del propio entorno, además de ser muy eficiente en el uso de los recursos económicos para la recolección de datos.

Para ello, como se ha visto en capítulos anteriores, es importante que las comunidades locales tengan claro cuáles son los objetivos o preguntas de monitoreo, los objetos y variables a las que se hará seguimiento y cómo estos se articulan con las necesidades locales. Cuando se tienen claros estos aspectos, se pueden programar encuentros entre comunidad y expertos para definir qué técnicas emplear para hacer la recolección de datos en campo (Evans & Guariguata, 2016). Adicionalmente, hay que socializar y acordar con las comunidades los siguientes aspectos:

**FORMACIÓN DEL EQUIPO DE CAMPO.** Las personas que recolectan los datos deben tener entrenamiento con expertos en: manejo, instalación y recolección de equipos y muestras; identificación de especies; y registro de datos en formatos análogos o digitales. Una vez se establecen acuerdos para invertir tiempo en campo, es necesario ajustarse al día a día de trabajo de los actores locales, de forma que el monitoreo no sea una carga que perturbe sus labores cotidianas y, al mismo tiempo, se asegure que los muestreos podrán hacerse periódicamente durante el monitoreo. Se requiere asimismo mantener comunicación y trabajar colaborativamente con los demás actores. Para asegurar una adecuada recolección de datos es necesario hacer seguimiento a las personas, por si tienen dudas o dificultades con la recolección de datos, y verificar si se cumple con el diseño de muestreo y las medidas de control de calidad de datos: consistencia temporal, número de puntos o estaciones de muestreo, control cruzado de metadatos. La formación debe involucrar sesiones prácticas para retroalimentar la metodología y el manejo de equipos. Por ejemplo, enseñar cómo programar o configurar los parámetros de las cámaras trampa o grabadoras de sonido, uso de binoculares, láminas o guías de identificación, entre otros.

**HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.** Es importante identificar con las comunidades cuál es la herramienta adecuada para recolectar los datos en campo. En muchos procesos comunitarios se utilizan formatos análogos porque facilitan el registro de datos cuando hay personas con diversos niveles de educación, analfabetismo, poco contacto con la tecnología o ausencia de electricidad, señal de comunicación, equipos, entre otros. Sin embargo, cuando están los equipos y condiciones necesarias para hacer la recolección digital, se reducen los errores, mejora la precisión y disminuye el tiempo de procesamiento y generación de los análisis, pero ello implica tener en cuenta otras consideraciones como los costos de capacitación continua, el soporte técnico, la alineación de aquellas personas menos familiarizadas con herramientas digitales, comunidades rurales, personas mayores y grupos marginados; incluso algunos grupos desconfían de la tecnología y existen preocupaciones por la propiedad de los datos y el control de la información sensible (Evans & Guariguata, 2016).

En algunos casos, podrá hacerse uso mixto de herramientas análogas y digitales; por ejemplo, en el Programa de América Latina para las Aves Silvestres (Pro-*alas*), los monitores comunitarios realizan las salidas de campo, registran en hojas de datos análogas y un coordinador es quien digitaliza la información en la plataforma eBird (Ruiz et al., 2019). Para seleccionar las herramientas de recolección de datos es necesario socializar y evaluar con las comunidades su pertinencia.

**GEORREFERENCIACIÓN DE CADA SITIO DE MUESTREO.** Hay que garantizar que los datos recopilados por las comunidades estén georreferenciados. Para ello se podría entrenar a los participantes en el manejo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) o en aplicativos de georeferenciación móvil (Avenza, Gaia GPS, Notecam), o verificar en aplicaciones como eBird o Naturalista que este parámetro funcione adecuadamente. En algunos casos, es necesario tener personal capacitado que garantice el desarrollo del proceso y marcar los sitios donde se realiza la recolección de datos.

**PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS.** Es necesario definir con las comunidades y expertos cuál es la periodicidad del proceso, en qué épocas se realizará, los lugares donde se desarrollará, la logística y la factibilidad; y establecer con los actores locales un *cronograma de actividades*, donde se especifique cuándo se recolectan los datos (fechas, horarios, períodos), cuál es la permanencia de los equipos en campo, cuándo se hará la recuperación y/o búsqueda de los mismos, y quiénes son los actores responsables.

**ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.** Las comunidades deberán diligenciar los formatos análogos o digitales que se hayan destinado para el monitoreo. Es importante que estos formatos sean almacenados y organizados por coordinadores del proyecto o coordinadores locales que permanezcan en el territorio, para darle continuidad al monitoreo, posterior a los cierres de proyectos.

## 5.5. Consideraciones éticas y de seguridad

La captura o marcaje, para la posterior liberación de animales silvestres, es una herramienta importante de investigación; cuando se hace de forma apropiada, es segura y efectiva (Ralph et al., 1996). La seguridad de este proceso depende del uso adecuado de las técnicas y el equipo, además del entrenamiento, experiencia y consideración de los investigadores a cargo.

Para trabajar en la captura de animales silvestres es necesario seguir un código de ética estricto, con el fin de garantizar la seguridad y el bienestar tanto de los investigadores como de los animales, y así minimizar los riesgos de lesiones o muerte de los individuos. A continuación, se mencionan algunas reglas básicas a seguir:

- » Manipular a cada individuo de manera cuidadosa, en silencio y en el menor tiempo posible.
- » Capturar y procesar solo los individuos que se puedan manejar con seguridad y en un tiempo prudente; evitar retener a los individuos más tiempo del necesario.
- » Cerrar las trampas o redes cuando haya depredadores u otros peligros en el área.
- » No capturar individuos (sobre todo aves y murciélagos, los cuales tienen un metabolismo muy rápido) en condiciones climáticas adversas (lluvias fuertes, temperaturas muy altas o muy bajas). Si las condiciones no son óptimas, se debe ajustar el tiempo de revisión de trampas o redes de forma acorde.
- » Evaluar frecuentemente la condición de las trampas y redes, y repararlas de forma oportuna.
- » Cada individuo capturado es supremamente valioso, por lo que se debe asegurar tomar los datos de la mejor manera posible, procurando que sean correctos y estén completos.
- » Asegurar que el equipo de trabajo cuente con el entrenamiento necesario para no poner en riesgo el bienestar de los animales capturados.
- » Si se utilizan redes o trampas en un mismo lugar durante varios días, hay que asegurarse de que estas queden bien cerradas al final de cada sesión de trabajo; nunca se deben dejar redes o trampas funcionando sin atención.
- » Evaluar constantemente el trabajo para asegurar que todo esté libre de cuestionamiento. Además, reevaluar métodos, si ocurren muertes o lesiones de individuos, y pedir o aceptar críticas constructivas de colegas, en caso de ser necesario.

En Colombia, el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015, “Por el cual se reglamenta el permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales”, define la recolección de especímenes como “un método que involucra remoción temporal o definitiva de especímenes de la biodiversidad de su ambiente natural” (Presidencia, 2015). Se debe considerar la solicitud de un permiso, si dicha recolección se hace en el marco del desarrollo de un estudio ambiental, sea para realizar inventarios o para hacer caracterizaciones que permitan el levantamiento de la línea base en biodiversidad (ANLA, 2015). El permiso de recolección autoriza exclusivamente tanto a la recolección como a la movilización de especímenes de la biodiversidad

dentro del territorio nacional, más no actividades relacionadas con el acceso a los recursos genéticos, la comercialización o aprovechamiento, la bioprospección, ni la exportación o importación de especímenes de la biodiversidad (Presidencia, 2015).

Todas las personas naturales o jurídicas que quieran realizar actividades de recolección de especímenes deben solicitar el respectivo permiso de recolección, a excepción de las instituciones o comunidades definidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). El permiso de recolección debe ser tramitado de acuerdo con la guía establecida en el Decreto 1076 de 2015 y ha de ser radicado ante la autoridad ambiental de la jurisdicción donde se planea realizar la recolección de especímenes, conforme a lo establecido en el artículo 2.2.2.9.2.3 del Decreto 1076 de 2015 (ANLA, 2015). Si se pretende desarrollar actividades de recolección en jurisdicción de dos o más autoridades ambientales, el trámite se adelantará ante ANLA (2015), quien tiene trece días hábiles para solicitar información adicional que, una vez entregada, será evaluada dentro de los siguientes diez días hábiles, luego de los cuales deberá dar su pronunciamiento de fondo. El permiso podrá ser otorgado hasta por dos años, al cabo de los cuales podrá ser solicitado nuevamente, siempre y cuando haya cumplido con las obligaciones establecidas en el primer permiso otorgado y se haya dado por terminado y cerrado mediante acto administrativo (ANLA, 2015). En el caso de las universidades, pueden solicitar un permiso marco de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, siguiendo el artículo 19 del Decreto 3016 de 2013 (Presidencia, 2013), compilado en el Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.2.8.5.2 (Presidencia, 2015).

Específicamente en el Instituto Humboldt, se conformó un Comité de Ética de Investigación (CEI Humboldt), un grupo asesor y deliberativo creado para brindar acompañamiento ético a los proyectos de investigación. Dentro de los objetivos se plantea velar, entre otros aspectos, por el cumplimiento de las normas vigentes en materia de colecta o manipulación de especímenes vivos de fauna o flora. En este marco se han identificado unas regulaciones o normas éticas nacionales e internacionales que son referente para el desarrollo de las actividades de investigación, entre las cuales se encuentran:

- » Ley 84 del 27 de diciembre de 1989, “Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia” (Congreso, 1989).
- » Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud, “Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”. El título V del Capítulo 3 se refiere a la investigación biomédica con animales (Ministerio de Salud, 1993).
- » Decreto 1376 de 2013, “Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial” (MADS, 2013).

Además, en el ámbito internacional se han desarrollado documentos o guías que hacen énfasis en la importancia del cuidado de los animales en la investigación científica, como es el caso de la *Guía para el cuidado y uso de los animales de laboratorio* elaborada por el Institute

of Laboratory Animal Resources Commission on Life Sciences National Research Council. Este tipo de guías pueden ser referentes para que toda persona que cuide o use animales para investigación científica, enseñanza superior o pruebas de laboratorio asuma la responsabilidad de su bienestar, así como para ampliar el marco normativo y de políticas a nivel internacional con respecto al cuidado y uso de los animales.

De otro lado, también deben ser abordadas las consideraciones de seguridad de los investigadores, por lo que se sugiere hacer una revisión previa a la zona de muestreo a través de contactos locales y la identificación de puestos de salud y de soporte institucional, como la policía, el ejército, las escuelas, entre otros. Asimismo, se ha de contar con los esquemas de vacunación y las medidas de cuidado por contacto con especies silvestres.

# Referencias

- Castro-Herrera, F., & Bolívar-García, W. (2010). *Libro rojo de los anfibios del Valle del Cauca*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Escobar, D., Díaz-Sánchez, S. R., Jojoa, L. M., Rudas, E., & Saavedra, J. (2015). Georreferenciación de localidades: una guía de referencia para colecciones biológicas. Instituto Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9610>
- Evans, K. A., & Guariguata, M. R. (2016). Éxito desde la base. *El monitoreo participativo y la restauración de bosques*. Cifor. <https://doi.org/10.17528/cifor/006393>
- Hill, J., Chumchal, M. M., Drenner, R. W., Pinder, J. E., & Matthew Drenner, S. (2010). Use of preserved museum fish to evaluate historical and current mercury contamination in fish from two rivers in Oklahoma, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161(1-4), 509-516. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0764-5>
- Hurtado, J., & Soto, C. (eds.) (2017). *Manual para el monitoreo participativo de vertebrados terrestres a través de cámaras trampa en Costa Rica*. Mapcobia-Sinac-JICA. <https://acortar.link/HiINMa>
- Jones, C. A., & Daehler, C. C. (2018). Herbarium specimens can reveal impacts of climate change on plant phenology; a review of methods and applications. *PeerJ*, 6, e4576. <https://doi.org/10.7717/peerj.4576>
- Lavoie, C. (2013). Biological collections in an ever changing world: Herbaria as tools for biogeographical and environmental studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15(1), 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2012.10.002>
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D., & Milá, B. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres [General Technical Report PSW-GTR-159 (p. 46), United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station].
- Rueda-Almonacid, J. V., Lynch, J. D., & Amézquita, A. (2004). *Libro rojo de anfibios de Colombia*. Conservación Internacional Colombia, Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ruiz-Gutiérrez, V., Berlanga, H., Calderón-Parra, R., Savarino-Drago, A., Aguilar-Gómez, M. A., & Rodríguez-Contreras, V. (2019). *Manual ilustrado para el monitoreo de aves*. Proalas, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Iniciativa para la Conservación de las Aves de Norte América y Laboratorio de Ornitología de Cornell.
- Strekopytov, S., Brownscombe, W., Lapine, C., Sykes, D., Spratt, J., Jeffries, T. E., & Jones, C. G. (2017). Arsenic and mercury in bird feathers: Identification and quantification of inorganic pesticide residues in natural history collections using multiple analytical and imaging techniques. *Microchemical Journal*, 130, 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.10.009>
- Villarreal, H., Álvarez, M., Gast, F., Umaña, A. M., Mendoza, H., & Schiele, R. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (2 ed., p. 236). Instituto Humboldt.
- Weeks, B. C., Willard, D. E., Zimova, M., Ellis, A. A., Witynski, M. L., Hennen, M., & Winger, B. M. (2020). Shared morphological consequences of global warming in North American migratory birds. *Ecology Letters*, 23(2), 316-325. <https://doi.org/10.1111/ele.13434>

# Legislación y normativa

ANLA - Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2015). Guía para la solicitud y uso del permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015, el cual compila el Decreto 3016 de 2013. <http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/comunicaciones/biblioteca/especies6.pdf>

Congreso de la República de Colombia. (1989). Ley 84 de 1989. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales, se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia. *Diario Oficial*, 39, 120.

MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Decreto 1376. Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de Investigación científica no comercial.

Ministerio de Salud. (1993). Resolución 8430. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.

Presidencia de la República de Colombia. (2013). Decreto 3016. Por el cual se reglamenta el Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales.

Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1076. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.





Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt

# Técnicas de muestreo para la recolección de datos de monitoreo de biodiversidad

En las fichas que se entregan a continuación se describen seis tipos principales de técnicas de muestreo, cada una compuesta por varias categorías y subcategorías metodológicas. Aunque seguramente existen un sinnúmero de técnicas adicionales, este sondeo detallado destaca las más utilizadas por los investigadores del Instituto Humboldt en su quehacer de caracterizar y monitorear la biodiversidad.

**A.** Técnicas de muestreo por observación directa.

- A1.** Muestreo por encuentros visuales.
- A2.** Muestreos acústicos activos.

**C.** Técnicas de muestreo genético.

- C1.** Muestreo genético de poblaciones silvestres.
- C2.** Muestreo genético de comunidades.

**B.** Técnicas de muestreo de captura.

- B1.** Captura manual.
- B2.** Captura con redes.
  - 1. Captura con redes de niebla.
  - 2. Captura con red Surber.
  - 3. Captura con red tipo D.
  - 4. Captura con red tipo Hess.
  - 5. Captura con red de pantalla.
  - 6. Captura con redes de deriva.
  - 7. Redes de plancton.
  - 8. Chinchorro o red de arrastre.
  - 9. Atarraya.
  - 10. Redes de enmalle o trasmallo.

**B3.** Captura con trampas.

- 1. Captura con trampas caja.
- 2. Captura con trampas letales.
- 3. Captura con trampas de caída.
- 4. Captura con trampas de doble embudo.
- 5. Captura con trampa de semillas.

**B4.** Captura con otras técnicas.

- 1. Captura con corer, corazonadores o tubos Ruemmer.
- 2. Captura con dragas.
- 3. Captura con botellas hidrográficas.
- 4. Cuadrantes en sustratos duros naturales y artificiales.

**D.** Técnicas de muestreo audiovisual pasivo.

- D1.** Fototrampeo.
- D2.** Muestreo acústico pasivo.

**E.** Técnicas de muestreo en parcelas permanentes de vegetación.

- E1.** Parcelas permanentes de vegetación: adultos.
- E2.** Parcelas permanentes: plántulas y juveniles.

**F.** Técnicas de muestreo de información secundaria.

- F1.** Uso de bases de datos y sensores remotos.

# A. Técnicas de muestreo por observación directa

## A1. Muestreo por encuentros visuales

Esta técnica consiste en recorridos estandarizados por tiempo y/o espacio (área) y número de personas hechos en búsqueda de individuos (Heyer et al., 1994; Angulo et al., 2006; Urbina et al., 2015). El muestreo por encuentros visuales (*visual encounter surveys - VES*), ampliamente empleado como una técnica estándar, es robusto y eficiente en el inventario y monitoreo de ensamblajes cuando se definen las métricas del diseño que lo hacen replicable en el tiempo (Doan, 2003; Urbina et al., 2015).

Las detecciones por encuentros visuales son una de las técnicas más recomendadas para anfibios, reptiles y aves, pues permiten obtener una adecuada cobertura de las especies presentes (Ralph et al., 1993; Doan, 2003; Urbina et al., 2015). Los muestreos estandarizados pueden garantizar una cobertura y replicabilidad adecuada a escalas temporales, abarcando ciclos específicos; y a escalas espaciales, teniendo en cuenta asociaciones particulares con los hábitats disponibles.

En general, los transectos estrechos favorecen el recuento de especies crípticas y pequeñas; y se recomienda mantener la velocidad de avance constante para posteriormente mantener la replicabilidad. Los transectos fijos y los puntos fijos de observación dan una buena medida de abundancia y densidad, mientras que los transectos itinerantes dan muy buena información de la diversidad de especies. Se debe invertir el mismo esfuerzo de captura (metros y/o horas de muestreo y personas) en cada unidad de muestreo (p. ej., tipo de cobertura o nivel del gradiente) y preferiblemente los observadores deberían ser los mismos, para estandarizar el sesgo asociado a la imagen de búsqueda, la agilidad en la captura y la experiencia en campo entre un investigador y otro (Urbina et al., 2015).

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Peces en aguas con visibilidad, anfibios, reptiles, aves y mamíferos que habitan principalmente en los estratos bajos del bosque.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** El uso de esta técnica puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (densidad, abundancia relativa, patrones de uso de hábitat) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial).

**RECOMENDACIONES.** Cuando se trabaja con anfibios y reptiles, se sugiere que los muestreos se realicen en transectos y deben desarrollarse durante diferentes horas; en la mañana, la tarde y la noche, abarcando los horarios de actividad de las diferentes especies. En un área específica estos muestreos se deben repetir entre tres y seis veces, incluyendo épocas de lluvias, sequía y transición, ya que sus patrones de actividad son altamente susceptibles al clima y, por lo tanto, su detectabilidad varía significativamente entre estaciones. La ubicación de los transectos o sus puntos de inicio debe ser preferiblemente aleatoria. Si bien la longitud de cada transecto se debe ajustar a las características del terreno, se sugieren transectos de 50 m de longitud y 2 m a cada lado, con búsqueda de individuos que se encuentren hasta a 2 m de altura en la vegetación (Heyer et al., 1994; Angulo et al., 2006; Urbina et al., 2015). Además, se debe aleatorizar el orden de inicio de los transectos dentro de una misma unidad de muestreo para controlar el sesgo del pico de actividad de las especies (para transectos fijos, ver Urbina et al., 2015).

Esta técnica es muy eficiente en diseños que requieren de un muestreo estratificado a lo largo de gradientes. Cuando se utiliza para el registro de cocodrilianos, los transectos se realizan a lo largo de las orillas de caños, ríos o ciénagas, generalmente en un bote y desplazándose a una velocidad constante. Para la detección de los individuos se utilizan linternas potentes con las que se iluminan las orillas; esta luz se refleja en los ojos de los individuos, lo que facilita su detección.

En las observaciones submarinas o subacuáticas se usa esnórquel o buceo autónomo (Sutherland, 2006; APHA, 2012). La elección depende principalmente de factores como la claridad del agua y la profundidad a la que se realizan las observaciones. Por lo que normalmente las observaciones en aguas turbias de lagos, ciénagas o embalses se realizan entre 1 a 1,5 m o entre 3 a 4 m en aguas tropicales claras; dependiendo de la visibilidad, de la cobertura vegetal (Fragoso et al., 2019) o de la transparencia del agua, entre 1 a 5 m a cada lado del transecto y arriba de este (Sutherland, 2006). En el caso de peces, se recomienda, por seguridad, que las actividades subacuáticas y submarinas las efectúen siempre dos observadores, repartiéndose los diferentes campos visuales que tienen, dependiendo del tipo de técnica que definan usar. Es importante que ambos observadores estén igualmente entrenados para disminuir el sesgo de los datos. Una vez se definen los transectos para peces o se delimita el diámetro o perímetro de los puntos fijos para conteo, es recomendable esperar entre cinco a quince minutos luego de generar la perturbación para dar tiempo a los peces de volver a la zona de monitoreo (Sutherland, 2006).

Para las observaciones de aves se recomienda el uso de herramientas como binoculares y guías de campo para incrementar la precisión en las detecciones e identificaciones. Al igual que para otros grupos, las aves responden a variaciones climáticas estacionales y de disponibilidad de recursos, por lo cual se hace necesario establecer diseños de monitoreo a escalas espaciales y tempo-

rales adecuadas (p. ej., típicamente abarcando ciclos anuales, que incluyen las temporadas reproductivas). Esto permite identificar patrones de cambio en sus niveles de actividad. De la misma forma, los ciclos diarios de actividad de las especies pueden afectar su detectabilidad, por lo que se recomienda priorizar los muestreos en los picos de actividad en la mañana (6:00-10:00 a.m.) y en la tarde (3:00-6:00 p.m.), con el fin de maximizar la probabilidad de encuentro. Cada evento de muestreo (p. ej., censo), en punto de conteo o transectos, puede durar de diez a quince minutos, dejando espacio de al menos diez minutos entre censo, y debe estar distanciado del siguiente punto o transecto por lo menos 200 m para garantizar independencia temporal y espacial entre cada evento de detección de aves (Ralph et al., 1993; Ruiz et al., 2020). Idealmente, estos censos deben ir acompañados simultáneamente de un muestreo acústico activo para incrementar el número de especies detectadas y conservar un registro completo del evento de muestreo.

Para observaciones de mamíferos en estudios poblacionales se requiere tener en cuenta, además de las recomendaciones generales anteriormente descritas para aves, las distancias y el ángulo de observación, por lo que se recomienda emplear medidores de precisión.

## A2. Muestreos acústicos activos

Esta es una técnica de muestreo activo que requiere la colecta de datos con personal en campo y el respectivo equipo de grabación de sonidos. Permite identificar especies y cuantificar el número de individuos que vocalizan. Frequentemente se realiza a lo largo de un transecto o en puntos de conteo. Para esto, los observadores cuantifican el número de individuos vocalizando hasta a una distancia de aproximadamente 50 m del transecto, dependiendo del hábitat y las condiciones climáticas (Lips et al., 2001), y se recomienda que tenga una longitud de 1 km (Heyer et al., 1994). Por otro lado, los puntos de conteo pueden ser de diez a quince minutos de duración, distanciados, en lo posible, de por lo menos 200 m (Ralph et al., 1993). El uso de esta técnica es muy eficaz en el trópico para la detección de anuros machos que vocalizan en áreas diferentes a charcas y quebradas, aunque ha sido también usada en sitios de agresión reproductiva. Así mismo, se ha usado en la delimitación de territorios de aves acústicamente activas e insectos. También es útil para el muestreo de mamíferos, con ajustes al equipo y alcances del diseño (grabación de ultrasónidos) (Martínez et al., 2021). Es asimismo una técnica eficaz para la detección de especies, pues no implica la búsqueda directa de individuos, aunque se limita al registro de aquellas que vocalizan, por lo que se recomienda que se la combine con la de inspección por encuentro visual. Requiere una inversión intermedia de tiempo y la habilidad de los observadores para identificar los cantos de diferentes especies.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Anuros reproductivos, aves, insectos, murciélagos.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Esta técnica aporta datos poblacionales (abundancia relativa de machos y densidades en algunos casos, fenología reproductiva), de comunidades (composición) y, para algunas especies de murciélagos insectívoras, entrega datos de uso de hábitat.

RECOMENDACIONES. El primer paso es estar familiarizado con los equipos. Para los audios direccionales de espectro audible se espera reducir la relación de la señal enfocada con el ruido de fondo (Acevedo et al., 2021). Una recomendación es grabar un primer audio y luego reducir la distancia del emisor a la mitad. Para direccionales en ultrasonido, no todos los murciélagos se pueden grabar igual, por lo que existen diferentes técnicas (Martínez et al., 2021).

En cuanto a las estimaciones de abundancia de anuros, se han propuesto técnicas basadas en rangos de número de individuos escuchados, aunque es importante resaltar que estas corresponden a estimaciones subjetivas. Las estimaciones del número de individuos y densidades parecen ser subestimadas en sitios de agregación en los que, por ejemplo, cuatro o más ranas cantan (Heyer et al., 1994).

Realizar puntos de grabación de ultrasonido es una metodología complementaria a la captura de murciélagos con redes de niebla (MacSwiney et al., 2008). Esta metodología permite registrar especies de murciélagos que forrajean arriba del dosel, detectan y evitan las redes, como es el caso de algunas especies insectívoras aéreas (Berry et al., 2004; Clarke et al., 2005). Para registrarlas se pueden hacer grabaciones activas en modo de transecto con puntos fijos de grabación de ultrasonido (Stahlschmidt & Brühl, 2012) y realizar los transectos en horas pico de actividad (18:00 a 21:00).

Para murciélagos, es posible calcular estimaciones de abundancia (actividad de murciélagos) a partir del número de secuencias de señales de ecolocalización (*bat pass*) por unidad de tiempo. Se han propuesto diferentes índices para calcular esta actividad (Miller, 2001; Frick, 2013; Tuneu et al., 2020). Lo más importante a tener en cuenta para calcular estos índices es la probabilidad de detección de las especies que se están registrando, ya que la esta, en grabadoras de ultrasonido, depende mucho de la especie (Adams et al., 2012).

Dado el alto desconocimiento de vocalizaciones de anuros y señales de ecolocalización de murciélagos neotropicales, se recomienda realizar grabaciones de referencia para la corroboración de la identificación de las especies y depositar dichas grabaciones en colecciones de sonidos públicas para aportar a la construcción de conocimiento de los grupos, preferiblemente acompañadas de especímenes *voucher*.

# B. Técnicas de muestreo de captura

## B1. Captura manual

Esta es una técnica de muestreo activa en la que el investigador en campo recurre a sus habilidades físicas para capturar individuos silvestres. Puede implementarse para el registro de diferentes organismos y es frecuentemente empleada con especies de anfibios y reptiles que habitan el suelo de los bosques o los bordes de quebradas —siendo particularmente exitosa en el muestreo de especies que habitan la hojarasca, usualmente difíciles de detectar— y con macroinvertebrados acuáticos con carácter bentónico. En ambos casos la búsqueda se realiza levantando rocas, troncos u otros sustratos y revisando sobre y debajo de ellos.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Anfibios y reptiles que habitan los estratos terrestres y hojarasca. Principalmente recomendada para: especies de ranas terrestres en bosques y bordes de cuerpos de agua (*Craugastor*, *Pristimantis*, *Colostethus*, etc.); cecilias, salamandras, lagartos y serpientes; y macroinvertebrados bentónicos.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** El uso de esta técnica puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (densidad y abundancia relativa) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial para los diferentes grupos).

**RECOMENDACIONES.** Para el registro de anfibios y reptiles usualmente se realizan parcelas que pueden variar entre 5 x 5 y 10 x 10 m, aunque un área de 8 x 8 m ha sido sugerida como un buen punto medio (Lips et al., 2001). Requiere una alta inversión de tiempo y personal; sin embargo, es muy útil para la estimación de densidades poblacionales, para muestreos en zonas con diferentes hábitats y cuando múltiples parcelas son establecidas aleatoriamente. El establecimiento de parcelas en terrenos muy pendientes puede agregar un alto grado de dificultad, de manera que se recomienda su uso principalmente en terrenos planos a levemente pendientes. En el caso de muestreos de salamandras se ha recomendado el uso de parcelas de tamaños menores a 5 x 5 m, dadas sus altas densidades (Lips et al., 2001). Se recomienda que la búsqueda dentro de las parcelas se realice entre dos y, preferiblemente, cuatro personas, de manera que se disminuya la probabilidad de escape de individuos. El uso de esta técnica puede causar

cambios drásticos del hábitat, por lo cual es necesario volver a cubrir la parcela con el material removido (p. ej., hojarasca), minimizando así el grado de alteración.

Como parte de la revisión cualitativa de macroinvertebrados, se recomienda realizar la búsqueda de los sustratos para obtener los organismos en humedales lóticos en contracorriente y para los humedales lénticos tratando de generar la menor perturbación posible. Es recomendable, si encuentran restos leñosos, como troncos y ramas, tratar de partirlos, toda vez que dentro de las cavidades en las que suelen estar presentes estos, por diferentes procesos, o bajo la corteza en descomposición, pueden vivir u ocultarse diferentes organismos. Cada uno de los organismos encontrados se toma con ayuda de pinzas entomológicas. Esta técnica es importante para poder capturar aquellos organismos que se encuentran fuertemente adheridos a los diferentes sustratos o dentro de ellos, como larvas de *Petrophila* (Lepidoptera) y tricópteros de las familias Hidroptilidae y Xiphocentronidae (Ramírez, 2010).

En aves, los estudios de biología reproductiva que involucren el monitoreo de nidos típicamente usan metodologías de búsqueda activa y manipulación de huevos y polluelos. Existen diferentes estrategias de búsqueda de nidos y toma de diversos datos, las cuales, tras un correcto entrenamiento, permiten abordar estudios de monitoreo que van desde la biología reproductiva básica de especies focales hasta las variaciones temporales en éxito reproductivo de comunidades asociadas a cambios en coberturas vegetales (Fierro et al., 2021).

## B2. Captura con redes

Las redes son comúnmente usadas para los muestreos de aves y mamíferos voladores, así como en los estudios de comunidades acuáticas, en los cuales existen diversos tipos de redes que se pueden utilizar, dependiendo de los organismos a monitorear. A continuación se presentan algunas de ellas: redes de niebla, red Surber, red tipo D, red tipo Hess, red de pantalla, redes de deriva, redes de plancton, redes de arrastre o chinchorros, atarrayas y redes de enmalle o trasmallo.

### 1. Captura con redes de niebla

La captura de individuos con redes de niebla es una técnica de monitoreo activa de alta eficacia para el monitoreo de poblaciones (Dunn & Ralph, 2004) de aves y mamíferos voladores. El uso de esta técnica permite obtener datos específicos de la estructura poblacional de las especies (distribución de clases de edad y sexo) (Ralph et al., 1996). Además, si al uso de las redes de niebla se le suma el marcaje de individuos por medio de anillos (metálicos o plásticos), se puede obtener información más especializada, tal como el grado de dispersión entre hábitats o la supervivencia individual entre años (Díaz y Asensio, 2000). Con la captura de los individuos también se puede realizar la recolección de datos morfométricos y muestras de diferente tipo

(sangre, plumas y excretas), convirtiéndolo en una técnica idónea para estudios que requieren de este tipo de información (Ralph et al., 2004). Sin embargo, es importante destacar que esta técnica no es la más idónea para estimar tamaños de las poblaciones ni para realizar inventarios, ya que los censos proporcionan datos más exactos; por lo tanto, si los objetivos del monitoreo no están centrados en la obtención de parámetros poblacionales, esta técnica no debe ser priorizada, ya que requiere entrenamiento especializado y un alto esfuerzo de muestreo (Ralph et al., 1996).

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Aves paseriformes y no paseriformes de tamaño mediano a pequeño y murciélagos.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Los datos recolectados a través de la captura con redes de niebla incluyen genes (si se recolectan muestras de tejidos o fluidos de los individuos, como sangre, excretas, plumas, regurgitados) o poblaciones y comunidades.

**RECOMENDACIONES.** Al igual que con los muestreos por encuentros visuales, se debe considerar variaciones espacio-temporales en la actividad de las especies a monitorear para garantizar una mayor efectividad en el muestreo. En el proceso de muestreo, siempre es importante priorizar el bienestar de los individuos capturados, prestando especial atención a las condiciones climáticas y cerrando las redes en condiciones de extrema exposición a radiación solar o lluvia.

La técnica de captura de murciélagos con redes de niebla es la más usada y reconocida (Bracamonte, 2018). Tiene un éxito de captura mayor para murciélagos frugívoros de la familia Phyllostomidae, mientras que para especies insectívoras, como las de la familia Molossidae, no es tan efectiva (Simmons & Boss, 1998). Las redes de niebla pueden colocarse tanto a nivel del suelo como elevadas a diferentes alturas y debe tenerse en cuenta que la actividad de los murciélagos no es uniforme a lo largo de la noche, pues existen picos de actividad, por ejemplo, en las primeras horas de la noche (Rydell, 1993; Emmons et al., 2006) y en algunos casos en horas cercanas al amanecer (Rydell, 1993).

Esta técnica es la más utilizada para el estudio de aves que se mueven entre el suelo y los estratos bajos de los bosques; sin embargo, existen métodos para instalar las redes con ascenso para muestrear los estratos más altos de vegetación. Para aves playeras y acuáticas, es necesario ubicar las redes perpendiculares a la costa o atravesando un humedal. El tamaño de la red (tamaño/luz de malla) depende del tamaño de las aves que se pretende capturar (entre 30-36 mm de diámetro para aves pequeñas). De igual forma, se debe garantizar que las aves capturadas en los paneles inferiores nunca entren en contacto con el suelo o el agua, ya que podría ponerlas en riesgo de ser atacadas por depredadores o de ahogarse. La *Guía para la utilización de aves silvestres en investigación* (Fair et al., 2010), así como la *Guía de estudio del anillador de Norteamérica* (NABC, 2001) dedican secciones enteras a las precauciones y recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de

manipular aves en campo; se recomienda su revisión antes de operar redes de niebla. Un porcentaje alto del éxito de la técnica depende de la ubicación de las redes. Para aves se recomienda ubicar las redes en los límites entre dos tipos de coberturas vegetales: bordes de bosque, dos tipos de hábitat, la ribera de un río, etc. Para la captura de murciélagos, es recomendable ubicar las redes en sitios como cuerpos de agua, claros del bosque, bordes de bosque y caminos (Lisón & Calvo, 2011).

Es importante tener en cuenta que, por motivos éticos en el manejo de animales silvestres, es necesario ser muy cuidadoso en el número de redes a operar según el número y el nivel de experiencia de las personas entrenadas con las que se cuente para la operación. Por lo general, se recomiendan dos personas para operar entre ocho a doce redes. Para la ubicación de las redes también se debe tener en cuenta que debería tardarse entre diez a quince minutos en revisar todas las redes si no hay capturas. Por lo tanto, en áreas irregulares o con pendientes pronunciadas, las redes deben estar ubicadas más cerca entre ellas que en terrenos planos.

Para los casos en los que se requiere del marcaje del individuo capturado, este va a depender del grupo taxonómico. Para aves se utiliza principalmente el método de anillamiento y para murciélagos se utilizan métodos como anillos metálicos, collares plásticos, pintura temporal y marcas con tatuadores. Es muy importante que la persona que realice el marcaje tenga experiencia y lo realice de la forma adecuada para no herir a los animales (Rodríguez-Posada & Santa-Sepúlveda, 2013).

## 2. Captura con red Surber

La red Surber cuenta con dos cuadrantes, generalmente de 30 cm de lado cada uno. El primero se encarga de mantener la red abierta para la recolección de individuos, mientras que el otro se coloca en el sustrato para definir el área donde se efectúa la remoción de individuos con ayuda de pies y manos (Sutherland, 2006). Esta técnica se usa en cuerpos de agua poco profundos, de hasta 30 cm de profundidad (APHA, 2012). El muestreo multihábitat con red Surber es una técnica cuantitativa que tiene en cuenta la proporción de los microhábitats presentes dentro del cuerpo de agua para distribuir el esfuerzo de muestreo proporcionalmente sobre cada uno estos y obtener una mejor representatividad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Ramírez, 2010).

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lótico de bajo orden (arroyos o cuerpos de agua inferiores a 30 cm de profundidad).

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE.** Comunidades o ensambles de especies de macroinvertebrados bentónicos.

**RECOMENDACIONES.** Para esta y otras técnicas acuáticas es importante empezar el muestreo de aguas abajo a aguas arriba, a contracorriente, esto con el fin de

evitar que los organismos se desprendan al perturbar sus hábitats. Adicionalmente, se recomienda efectuar el muestreo como mínimo en diez áreas, y la distribución de cada uno de estos es recomendable asociarla a la proporción de ecotonos presentes. Esta técnica es recomendada para efectuar levantamientos de información biológica que no impliquen un monitoreo constante de la comunidad. En caso de buscar identificar con mayor claridad variaciones o cambios en los ensambles de macroinvertebrados, se recomienda hacer monitoreo en cada uno de los ecotonos o hábitats existentes sin integración de las muestras, lo que permitirá una mejor comprensión de los cambios producto de cualquier actividad.

### **3. Captura con red tipo D**

La red tipo D debe tener una longitud de, como mínimo, el doble de su ancho para garantizar que los individuos no se salgan de esta y ha de estar hecha de materiales suaves que faciliten su manipulación y la de los individuos capturados en ella. La técnica consiste en realizar veinte pateos (*ticks*) por ecotonos acuáticos, mínimo cinco repeticiones (Rincón, 1996), a una distancia de 50 cm de la boca de la red, generalmente (De la Fuente, 2007). Si en la red hay mucho material, se recomienda ir revisándolo y eliminando de la muestra todas aquellas cosas que puedan deteriorar los organismos, en caso de no ser separados en campo, como palos, rocas y hojas grandes, realizando una adecuada inspección y lavado de dicho material.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lótico o léntico, en zonas vadeables o asociadas a tapones de macrófitas acuáticas; y larvas de anfibios.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Comunidades o ensambles de especies.

**RECOMENDACIONES.** Al igual que con otras técnicas de muestreo de comunidades acuáticas, es importante desarrollar el trabajo de muestreo de aguas abajo a aguas arriba (a contracorriente) en los humedales de carácter lótico. En humedales de carácter léntico se recomienda efectuar corrientes con pies o manos para que los organismos queden capturados dentro de la red, o efectuar un barrido con la red para garantizar que los organismos queden dentro. Para la captura de macroinvertebrados asociados a macrófitas acuáticas es importante, al momento de efectuarla, tratar de perturbar lo menos posible el tapón de macrófitas para evitar que los organismos se desprendan antes de tomar la muestra (Domínguez & Fernández, 2009). Por otro lado, una vez recolectado el material se recomienda efectuar un lavado vigoroso de las macrófitas para garantizar el desprendimiento de estas dentro de la red. Para esto, se debe eliminar el exceso de material vegetal sacando de la red los restos de macrófitas, troncos y hojarasca de gran tamaño que puedan deteriorar el material antes de su separación.

Para los estadios larvales de anfibios, se recomienda que se realice la captura en hábitats reproductivos, como pequeños cuerpos de agua de menos de 1 m de diámetro que pueden ser muestreados a través del barrido con este tipo de red. Para esto, se debe estandarizar el número de barridos que se realizan, diez para casos en los que no se encuentren individuos (Heyer et al., 1994). El monitoreo en lagunas y charcas de mayor tamaño se puede efectuar con muestreos aleatorios estratificados, por ejemplo, por profundidad, tomando el mismo número de muestras por zona y en quebradas. Se recomienda realizar muestreos en intervalos de tiempo específicos por hábitat como, por ejemplo, puntos de rápidos y puntos de corrientes y pozos, a través de remoción de rocas y sustrato del fondo, con el fin de atrapar individuos quebrada abajo con redes y barridos rápidos. Hay que tener presente que esta técnica requiere la habilidad de los observadores para identificar especies a través de sus características larvales. Dado el alto desconocimiento de los estadios larvales de las especies de anfibios del neotrópico y la escasez de claves, se recomienda la captura de especímenes que permitan aportar a la construcción de conocimiento del grupo. El muestreo estandarizado de larvas puede ser útil en la determinación de los efectos de variaciones en factores ambientales y del hábitat en estadios de vida diferentes al adulto.

## 4. Captura con red Hess

La red Hess es un cilindro con los extremos redondos abiertos (APHA, 2012); en la pared cilíndrica presenta una ventana con malla que puede oscilar entre 300 a 600  $\mu\text{m}$ , dependiendo del objeto de la investigación o muestreo, y la red localizada en la parte posterior de la ventana debe presentar el mismo tipo de malla que permite la captura de los organismos. La captura con esta red lleva a determinar el área de muestreo asociada al fondo del cuerpo de agua, lo que permite su replicabilidad en el tiempo. Suele usarse en zonas con poco o nulo flujo de agua. Para su uso, se genera un disturbio o barrido del fondo dentro del cilindro que se presiona para que los organismos se desprendan y con la mano se produce una corriente de agua para que estos caigan en la red (Ramírez, 2010).

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lento o lóticos, en zonas vadeables sin flujo de agua o con poco flujo.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE.** Comunidades o ensambles de especies de macroinvertebrados bentónicos.

**RECOMENDACIONES.** Es importante que el flujo de agua generado con la mano sea lo suficientemente potente para permitir el ingreso y captura de los organismos dentro del copo de la red. Adicionalmente, se ha de ubicar el cilindro

sobre todo el fondo, sin que se presenten espacios entre la red y este para evitar la pérdida de organismos. Por lo tanto, esta técnica funciona mucho mejor en fondos sin presencia de grandes rocas o fondos no muy escarpados.

## 5. Captura con red de pantalla

Esta técnica cualitativa necesita de una red cuadrangular de más o menos un  $1\text{ m}^2$  con un ojo de malla de aproximadamente  $500\text{ }\mu\text{m}$ , sujetada a dos mangos laterales de aluminio. Para hacer uso de ella, una persona se debe ubicar a contracorriente, sosteniéndola con ambas manos, mientras que otra persona, aguas arriba, remueve el fondo con pies y manos para desprender a los organismos. Estos son llevados por los rápidos hacia la red. El material removido se acumulará sobre la red junto con los organismos. Este proceso se repite en diferentes zonas del cuerpo de agua cerca a los rápidos, hasta que se cubra un área aproximada de unos  $6\text{ m}^2$  (Palma et al., 2014). Todo el material se separa directamente en campo o se enjuaga la red de pantalla para unificar todo dentro de otra red, o en un recipiente, para separarlo posteriormente.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lótico, en zonas con rápidos.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Comunidades o ensamblajes de especies de macroinvertebrados bentónicos.

RECOMENDACIONES. Es recomendable separar directamente en campo el material colectado, depositándolo sobre bandejas blancas hondas para, posteriormente, con la ayuda de pinzas o pinceles, tomar a los organismos y ponerlos en un recipiente con fijador. Por otro lado, se recomienda ubicar la red aguas abajo de las zonas donde convergen corrientes entre las rocas (rápidos), mientras que la remoción se hace aguas arriba.

## 6. Captura con redes de deriva

Los muestreadores de deriva generalmente presentan una forma rectangular. Se anclan al fondo de los humedales lóticos a contracorriente para capturar los macroinvertebrados que migran con la corriente o se han desprendido de los sustratos. El área de la boca de la red debe tener  $929\text{ cm}^2$  y una malla de  $500\text{ }\mu\text{m}$ . Los organismos capturados se pueden expresar por cantidad o biomasa por metro cúbico (APHA, 2012). Por lo tanto, es importante conocer o calcular la velocidad de la corriente en la zona donde se ubica la red.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lótico de bajo orden (arroyos o ríos pequeños).

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Comunidades o ensambles de especies de macroinvertebrados bentónicos que derivan con la corriente.

**RECOMENDACIONES.** Es importante, luego de ubicar la red, revisarla para recoger los organismos y material particulado y evitar su obstrucción, ya que esto ocasiona que el agua se desvíe de la boca de la red. Se puede hacer uso de muestras repetidas para cumplir con el objeto de la investigación. Es clave que cada una de las muestras tomadas cumpla con el mismo tiempo en cada estación. Las mejores horas de muestreo suelen ser entre el anochecer y el amanecer (APHA, 2012).

## 7. Redes de plancton

Las redes de plancton se usan con arrastres y su ojo de malla varía según el objetivo de la investigación, la comunidad a estudiar (fitoplancton o zooplancton) y el tipo de humedal, y se encuentran entre 23  $\mu\text{m}$  hasta 1024  $\mu\text{m}$  (APHA, 2012; Sutherland, 2016); en aguas continentales suelen usarse mallas de 23  $\mu\text{m}$  para el estudio de algas y de 23  $\mu\text{m}$  a 63  $\mu\text{m}$  para el zooplancton. La técnica consiste en efectuar arrastres a velocidad constante para filtrar el agua y atrapar dentro del copo de la red y su colector los organismos a estudiar. Los arrastres también pueden variar entre superficiales y oblicuos, o efectuarse a una profundidad determinada, dependiendo de la caracterización que se va a efectuar, así como del tipo de humedal, su profundidad, el tamaño de la capa fótica y las clinas presentes (Wetzel & Likens, 2000; Rueda, 2002; APHA, 2012). Es importante tener presente que durante el tiempo de arrastre la red no debe colmatarse, ya que esto ocasiona un reflujo de agua dentro de la red que genera la pérdida de organismos. Adicionalmente, puede hacerse uso de un flujómetro que se instala en la boca de la red para conocer el volumen de agua filtrado y así poder determinar la densidad de la comunidad estudiada.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Fitoplancton y zooplancton.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Comunidades o ensambles de fitoplancton o zooplancton.

**RECOMENDACIONES.** El uso de estas redes permite que las formas más pequeñas de esta comunidad, como el nanoplancton (2,0 a 20  $\mu\text{m}$ ) y el picoplancton (0,2 a 2,0  $\mu\text{m}$ ), se pierdan al atravesar los ojos de malla de la red, de modo que en esta solo quedarían capturados los organismos más grandes. Adicionalmente, la captura diferencial de organismos, el daño en las células o colonias y una inadecuada limpieza de la red suelen introducir errores que no permiten

una caracterización confiable y cuantitativa (APHA, 2012). Para evitar la colmatación de la red, es importante efectuar arrastres de corta duración, de dos a cinco minutos, los cuales se pueden prolongar una vez se ice la red dentro del bote y se revise que esta no se encuentra obstruida. Es clave mantener una velocidad constante baja para garantizar un adecuado arrastre. Dependiendo del tipo de arrastre a realizar, es posible que se deba instalar un peso o boyas en la red para modificar su flotabilidad.

## 8. Chinchorro o red de arrastre

Esta técnica de pesca activa consiste en una red de tiro con la que se genera una especie de semicírculo, con un posterior arrastre hacia la orilla, para la captura de organismos. Su principal característica es que no presenta un copo definido (Aunap-Unimagdalena, 2014). Suelen tener una relinga o cuerda superior donde se sujetan los flotadores y una relinga inferior que presenta plomadas. El tamaño del chinchorro o red de arrastre puede variar dependiendo del tamaño del paño utilizado para su construcción, el ojo de malla y el cuerpo de agua donde se va a efectuar la captura y su profundidad. Dependiendo de la longitud, será necesario el uso de dos o más operarios para su uso.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Peces.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Esta técnica estandarizada puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (abundancia y densidad relativas, fenología reproductiva) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial).

RECOMENDACIONES. Para un mejor uso de esta técnica es importante que el paño usado llegue, en lo posible, al fondo y controlar el arrastre para poder desenredar o liberar la red sin perder ningún organismo. Para su cuantificación, suele estandarizarse el número de arrastres efectuados en un tiempo determinado; este tiempo puede variar dependiendo del objetivo del estudio, pero se recomienda, como mínimo, una hora para el uso exclusivo de esta técnica, la cual debe estar acompañada de otras técnicas de pesca. En cuerpos vadeables y no vadeables, es recomendable efectuar mínimo dos arrastres por cada uno de los ecotonos identificados dentro del cuerpo de agua o zona vadeable. Por otro lado, en cuanto a los tamaños usados para construir las redes de arrastre, estos dependen del número de operarios que puedan estar presentes y las dimensiones del cuerpo de agua. En humedales de carácter lótico vadeables, se puede hacer uso de redes de 2 m a 4 m de longitud y 1,5 m de ancho para facilitar su manejo. En ríos más grandes con franjas de playas se puede hacer uso de redes de 10 m para generar los arrastres.

## 9. Atarraya

La atarraya es una red circular de caída que tiene forma de sombrilla y es usada al voleo, lanzamiento que efectúa el operario para que esta se abra. En su borde presenta una relinga de plomos que permite la rápida caída al fondo y el cierre de la red cuanto esta se recoge. El extremo cúspide está unido a un cordel o cuerda por donde se efectúa la maniobra de halado. Este arte es operado por un solo hombre y, en algunos casos, es utilizado por un grupo de pescadores que lanzan las atarrayas al tiempo, maniobra que se denomina de “corrales” (Aunap-Unimagdalena, 2014). Para estandarizar este tipo de técnica suele definirse el número de lances por un tiempo determinado, mismo que dependerá del tamaño del cuerpo de agua, de la cantidad de ecosistemas presentes en el tramo donde se efectúa el monitoreo y, así mismo, del tamaño de la red.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Peces.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Esta técnica puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (abundancia y densidad relativas, fenología reproductiva) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial).

RECOMENDACIONES. Es importante señalar que para una adecuada estandarización entre puntos de monitoreo, el tamaño de las atarrayas y el ojo de malla deben ser iguales. Adicionalmente, para una correcta caracterización es recomendable que el ojo de malla de las redes sea lo más pequeño posible, ya que este es selectivo. Por otro lado, para el monitoreo de humedales lóticos, que presentan una gran cantidad de corriente, es clave que la atarraya tenga un mayor peso, para que se pueda cerrar antes de llegar al fondo, sin ser arrastrada por la corriente. Otro tema a tener presente es que la atarraya ha de ser usada por un pescador para mejorar la eficiencia de captura de la técnica.

## 10. Redes de enmalle o trasmallo

Este tipo de arte de pesca, en la mayoría de los casos, se considera una técnica pasiva, aunque puede llegar a ser una pesca activa si utiliza algún tipo de encierro, bolicheo o lance. Aunque culturalmente se le conoce como trasmallo, este no corresponde al mismo arte de pesca, ya que el trasmallo es una red que se encuentra constituida por tres paños con dos ojos de malla diferentes. Las redes de enmalle se construyen normalmente con uno o más paños que pueden ser de diferente o el mismo tamaño de malla, teniendo en cuenta las especies que se desea capturar. En la parte superior del paño se instala una línea de flotadores equidistantes y en su parte inferior se instala una relinga de plomos o pesas igualmente posicionados. Las características del arte de pesca, como sus dimensio-

nes, el tamaño de la malla y la relación entre su flotación y hundimiento estarán determinadas por el uso y el objetivo de la captura (Aunap-Unimagdalena, 2014). Aunque, en general, existen tres modalidades de pesca con redes de enmalle: fija, a la deriva y al lance, para el monitoreo la más utilizada suele ser la estacionaria o fija. En esta la red se cala anclada por ambos extremos. Dependiendo del hábitat donde se lance, puede usarse en superficie, a profundidad, asociada a macrófitas, a franjas de orillas o perpendicular a estas.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Peces.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Esta técnica puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (abundancia y densidad relativas, fenología reproductiva) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial).

RECOMENDACIONES. Para poder estandarizar adecuadamente esta técnica, es importante que todas las redes utilizadas tengan las mismas dimensiones en longitud, altura y ojo de malla. Por otro lado, el tiempo de calado debe ser el mismo entre los diferentes puntos de monitoreo donde se pueda usar el arte de pesca para poder definir el esfuerzo pesquero adecuadamente.

## B3. Captura con trampas

Las trampas son artefactos de captura para atrapar y retener; en algunos casos con animales, se usan cebos para atraer al individuo y permitir su captura. Estos artefactos son ampliamente utilizados para el muestreo de diferentes grupos taxonómicos, siendo de gran valor, al permitir obtener datos del individuo capturado y realizar estimaciones de tamaño poblacional. Las trampas también permiten hacer seguimientos puntuales de los individuos (nacimientos, muertes, migración, además de patrones de crecimiento y de distribución espacial), ya sea mediante la instalación de dispositivos de seguimiento remoto a los individuos, posterior a la captura (telemetría), o cuando se contempla más de una captura para los mismos animales y esta implica un marcaje distintivo en el individuo y al menos dos muestreos en intervalos de tiempo limitado, preferiblemente con metodologías estandarizadas, como transectos o parcelas de trampas con tamaños de áreas conocidas.

### 1. Captura con trampas caja

En los estudios de mamíferos se utilizan, entre otras técnicas, diversos tipos de trampas, algunas para captura viva de los individuos y otras que implican la muerte del animal. Las Sherman y Tomahawk son las trampas de captura viva más utilizadas

para mamíferos terrestres, consistiendo la primera en una caja pequeña y plegable de láminas de aluminio con una puerta en un extremo, que se acciona cuando el animal pisa un pedal dentro de la trampa que hace que la puerta se cierre levantándose; las Tomahawk corresponden a una caja de alambres de metal soldados, con tamaño mediano a grande, plegable o no, activada también cuando el animal pisa un pedal dentro de la trampa, que hace que se cierre su puerta. Existen otro tipo de trampas de captura viva menos comunes, como la Iznachi, que consiste en una caja muy grande de láminas de acero desarmables y con una puerta en un extremo, que se acciona cuando el animal, ya dentro y en el fondo de la trampa, tira de un cebo atado a una guaya de acero, la cual, mediante un juego de poleas, activa la caída de la puerta, en forma similar a la de una guillotina.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Mamíferos no voladores.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Estas trampas permiten obtener información acerca de genes cuando se recolectan tejidos o fluidos de los individuos, poblaciones de una especie en particular o de comunidades compuestas por ensambles de diversas especies.

RECOMENDACIONES. Dependiendo del tipo de trampa, son diferentes los animales que se pueden capturar. Las trampas Sherman están enfocadas en pequeños mamíferos terrestres, como roedores y marsupiales pequeños, mientras que las trampas Tomahawk están enfocadas en mamíferos medianos, como zorros, marsupiales o roedores grandes. Otras trampas más especializadas, como la Iznachi, están enfocadas en la captura de grandes mamíferos, como el oso andino. Existen distintas recomendaciones sobre su disposición espacial y cebos/atrayentes a utilizar. Para las trampas de pequeños y medianos mamíferos terrestres se recomienda utilizar cebos de mantequilla de maní, sardinas mezcladas con hojuelas de avena, o atrayentes de olor, como copos de algodón untados con esencia de vainilla o de mantecado. Para las trampas Sherman y Tomahawk, se recomienda disponerlas en el suelo, dentro del bosque, sujetas firmemente a ramas de arbustos y árboles. Para trampas como la Iznachi, se recomienda disponerlas en zonas boscosas de alto tránsito de la especie que se quiere capturar (p. ej., oso andino), utilizando cebos como carne o panela. En general, para la captura y manipulación de medianos y grandes mamíferos se requiere el acompañamiento de un veterinario experto en manejo de fauna silvestre que emplee los protocolos veterinarios a los que haya lugar; para la captura de carnívoros, el uso de presas vivas es frecuente, pero, de decidirse su implementación, es necesario seguir un protocolo específico.

## 2. Captura con trampas letales

Entre las trampas que implican la muerte del animal en la captura, las más comunes son las trampas Victor, que son las que hemos visto muchas veces en

nuestras casas para el control de especies introducidas, como los ratones (*Mus musculus*) y las ratas (*Rattus* sp.). Estas trampas constan de un rectángulo de madera con un arco de alambre de acero que se encuentra sujeto a un resorte tenso en un extremo del rectángulo de madera y con un gatillo atado a un cebo, el cual se activa cuando el animal tira del cebo liberando el semiarco, que gira muy rápidamente al lado opuesto del rectángulo de madera y aplasta parte del animal.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Roedores y marsupiales.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Genes, poblaciones y comunidades.

RECOMENDACIONES. Al instalar estas trampas se debe hacer la revisión de ellas frecuentemente para minimizar los riesgos de que un individuo capturado sea depredado o quede en alguna situación de sufrimiento.

### **3. Captura con trampas de caída**

Las trampas de caída constan de un hueco mediano en el suelo, con un recipiente que lo abarca, en donde caen los animales y quedan atrapados sin poder salir, debido a la poca adherencia de las paredes del recipiente o el líquido dispuesto en el fondo.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Anfibios, reptiles, roedores, marsupiales, escarabajos coprófagos y otros insectos.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. El uso de esta técnica puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (abundancia y densidad relativas, fenología reproductiva) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial).

RECOMENDACIONES. En general, es necesario definir los sitios de instalación de las trampas de acuerdo con la ecología de las especies. Para el caso del muestreo de escarabajos coprófagos, se recomienda el uso de trampas de caída cebadas con excremento humano. Estas consisten de vasos plásticos de 16 onzas, enterrados a ras del suelo, con una mezcla de agua y jabón para sacrificar los especímenes que caigan. Sobre el vaso se ubicará un trozo de tela “tul”, con una bola de excremento de entre 40-50 g. Este cebo será sostenido por un palillo de pincho de 45 cm aproximadamente, sin llegar a tocar el vaso, ni el líquido que este contiene.

### **4. Captura con trampas de doble embudo**

Las trampas de doble embudo permiten la entrada de los animales por la parte ancha del embudo, pero dificultan su salida y retienen los animales capturados en

el interior. Se utilizan para la captura de organismos acuáticos que habitan en caños, quebradas, ríos o arroyos. Estas trampas pueden ser cebadas o no, dependiendo de las características del estudio. Las trampas se ubican a lo largo de las orillas, en lugares apropiados (teniendo en cuenta la especie que se quiera capturar) y se debe asegurar que parte de la trampa quede por fuera del agua, de modo que los individuos capturados puedan respirar. Es importante revisar las trampas regularmente para garantizar el bienestar de los individuos; para esta revisión se debe contar con un bote.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Peces, anfibios, reptiles, crustáceos y anuros en estadio larval acuático.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. El uso de esta técnica puede aportar datos acerca de genes (cuando se recolectan tejidos), poblaciones (abundancia y densidad relativas, fenología reproductiva) y comunidades (composición, riqueza, diversidad y distribución espacial).

RECOMENDACIONES. Las trampas dispuestas en forma de doble embudo han sido utilizadas en estudios poblacionales con podocnemídidos como *Podocnemis lewyana* y *P. vogli*, entre otros, en los que ha demostrado ser altamente efectiva. Los cebos utilizados varían ampliamente y se encuentran referencias al maíz podrido, plátano, pescado y otras plantas que las comunidades locales utilizan para la captura de estas especies. Se recomienda revisar las trampas mínimo tres veces al día.

## 5. Captura con trampa de semillas

Si los objetivos de la investigación están encaminados a comparar la llegada de semillas con la distribución espacial y la dinámica de plántulas o con la dispersión de semillas y la transición semilla-plántula, es necesario establecer una red de monitoreo de la lluvia de semillas mediante trampas colectoras (Norden et al., 2009). Las trampas se pueden ubicar dentro de los cuadrantes de una parcela permanente, distribuidas en forma homogénea dentro de la parcela o a lo largo de los senderos preexistentes de la parcela en cuestión (Wright et al., 2005). Las trampas pueden ser construidas con mallas de fibra de vidrio, con un ojo de malla de máximo 2 mm de ancho y protección contra rayos ultravioleta para evitar los daños generados por el sol. Deben estar a 1 m por encima del suelo para reducir la humedad y evitar el daño por pequeños roedores. Idealmente, pueden ser construidas de diversos materiales, como tubos de PVC o hula-hulas (círculos plásticos). Es muy importante que queden onduladas, con una profundidad de 15 cm, pues si la malla está templada, las semillas pueden rebotar y caer fuera. Alrededor de cada trampa se establecerán tres parcelas de plántulas de 1 x 1 m, ubicadas a 1 m de cada una, en

tres de sus cuatro lados. En cada una de estas parcelas, se marcarán, medirán, mapearán e identificarán todos los individuos (ver *infra* punto E1. Parcelas permanentes de vegetación).

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Plantas vasculares y no vasculares.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Individuos, poblaciones, especies, comunidades.

RECOMENDACIONES. Es importante que las trampas de semillas NO estén encima de las parcelas de plántulas o de juveniles, pues sesgarían el establecimiento de individuos. Si el estudio se enfoca en una población en particular o si quiere abarcar la escala espacial a la cual se realiza el proceso de dispersión, es más adecuado que las trampas de semillas con sus parcelas de plántulas asociadas estén distribuidas en un área relativamente grande (50-100 ha). En estos casos, anidar las parcelas de plántulas y las trampas de semillas dentro de una parcela permanente se vuelve impracticable.

## B4. Captura con otras técnicas

A continuación se describen técnicas que no implican la captura manual, con redes o trampas.

### 1. Captura con corer, corazonadores o tubos Ruemmer

Los corazonadores suelen ser usados en zonas poco profundas de humedales lóticos y lénticos que presentan sedimentos como arenas, fangos o lodos en su lecho y donde el uso de embarcaciones se ve limitado. Consiste en introducir el corer o tubo entre 5 y 10 cm de profundidad en el sedimento para posteriormente sacar el material captado en este (Rueda, 2002; APHA, 2012).

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lótico o léntico con aguas someras (meiofauna).

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Comunidades o ensambles de especies de macroinvertebrados bentónicos (meiofauna) de aguas vadeables.

RECOMENDACIONES. Para obtener un área representativa en el muestreo, se recomienda repetir varias tomas de sedimento. El número de repeticiones

dependerá de las dimensiones del tubo utilizado, así como del tamaño de la zona a muestrear. Adicionalmente, es recomendable que, una vez se extraiga el material, se tamice directamente en campo, para facilitar posteriormente su manejo y análisis (Rueda, 2002).

## 2. Captura con dragas

Existen diferentes tipos de dragas y su uso depende del sustrato del sitio de muestreo. La técnica consiste en bajar la draga abierta hasta el fondo del cuerpo de agua para tomar una porción del sustrato existente, atada con una soga o cable; el mecanismo de cierre varía de una a otra, pero, luego de llegar a este, se extrae del agua para obtener el sedimento presente en la estación. Este ejercicio suele requerir del uso de botes o muelles para poder lanzar las dragas (Ramírez, 2010; APHA, 2012). Para tomar una muestra representativa, se pueden necesitar varios lances, dependiendo del tamaño y área efectiva de la draga, así como de la zona que se desea muestrear.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Macroinvertebrados bentónicos en humedales de carácter lótico o léntico de aguas profundas (meiofauna).

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Comunidades o ensambles de especies de macroinvertebrados bentónicos de aguas no vadeables o profundas.

**RECOMENDACIONES.** Es importante conocer cada una de las dragas, sus usos y los tipos de fondo que pueden muestrear. La draga Petersen suele usarse para muestrear fondos duros, como arena, gravas y arcilla en corrientes rápidas y profundas, y para esto es posible adicionar pesos a cada una de las cucharas para ganar estabilidad en zonas con corrientes y aumentar la fuerza de corte de material. La draga Ponar suele utilizarse en diferentes tipos de humedales lóticos y lénticos, como ríos, lagos, embalses y ciénagas con columnas de aguas medias a profundas; suele usarse para muestrear fondos lodosos, con arena, grava o con rocas pequeñas con lodo, pero se puede usar en todos los sustratos, excepto en lechos rocosos. La draga Van Veen es comúnmente usada para toma de muestras marinas y en grandes lagos, ya que sus brazos largos suelen actuar como estabilizador, y se usa en sustratos con barro, grava, guijarros y arena; debido a su peso, suele necesitar el uso de elevadores mecánicos o hidráulicos asociados a embarcaciones. Otra de las dragas más usadas, la Ekman, solo es útil para muestrear lodos o limos en aguas con poca corriente y suele ser difícil de usar en áreas con fondos rocosos o arenosos, o con crecimiento moderado de macrófitas, porque pequeñas estructuras pueden impedir el cierre adecuado de la draga (APHA, 2012).

### 3. Captura con botellas hidrográficas

Este tipo de muestreo para comunidades planctónicas puede hacer uso de una amplia variedad de botellas verticales u horizontales. Las más utilizadas suelen ser: Kemmerer, Niskin/Nansen y Van Dorn (Wetzel & Likens, 2000; APHA, 2012). Todas están compuestas por un tubo cilíndrico con tapones en cada extremo y un dispositivo de cierre. El muestreador debe bajarse abierto a la profundidad deseada con ayuda de una cuerda, que debe permitir que el mecanismo de cierre funcione (mensajero o tirón de la línea) (Wetzel & Likens, 2000; APHA, 2012; Sutherland, 2016). Como parte de los estudios de las comunidades planctónicas, es esencial tener presentes diferentes aspectos para la selección de las estaciones de muestreo, como el objetivo de la investigación, las características morfológicas del cuerpo de agua, el tiempo de retención, la profundidad, la entrada y salida de flujos, la presencia de vertimientos puntuales, así como la disponibilidad presupuestal y el tiempo (Wetzel & Likens, 2000; Rueda, 2002; Bellinger & Sigee, 2015).

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Fitoplancton y zooplancton.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Comunidades o ensambles de fitoplancton o zooplancton.

RECOMENDACIONES. En lagos o embalses que presentan forma circular, se aconseja seleccionar sitios a lo largo de mínimo dos transectos perpendiculares que se extiendan de orilla a orilla, incluyendo el sitio más profundo del cuerpo de agua y aquellos cercanos a las entradas y salidas. Si el cuerpo de agua es alargado y angosto, pueden seleccionarse varios puntos en mínimo tres transectos perpendiculares al eje más largo del cuerpo de agua. En cuerpos de agua con morfología indefinida, es recomendable realizar muestreos en varias estaciones; por ejemplo, en represas con varios brazos o meandros se deben tomar las muestras en cada uno de los brazos, cerca de la presa y en la zona más profunda. Las demás estaciones estratégicas se definen según los objetivos del estudio y pueden quedar cerca de tomas de agua, en vertimientos de agua residuales, en zonas de cultivo de peces o cerca de orillas que pueden influir en la fisicoquímica del agua (Hötzl & Croome, 1999).

En humedales con profundidades inferiores a 2 m, suele presentarse homogeneidad en la distribución de los organismos y las características fisicoquímicas en la columna del agua, por lo que efectuar la toma de muestras entre 0,5 a 1 m de profundidad puede ser suficiente para caracterizar adecuadamente la comunidad (Wetzel & Likens, 2000; Bellinger & Sigee, 2015). En caso contrario, es importante identificar las posibles clinas que pueda presentar el cuerpo de agua para determinar las profundidades a las que se toman las muestras, así como el ancho de la capa fótica. Se podrán realizar muestreos compuestos a partir de varias profundidades o agrupar muestras repetitivas de una profundidad para ob-

tener las muestras. En caso de integrar las muestras, se debe verter el contenido de la botella en un recipiente que le permita mezclar el volumen de las diferentes profundidades a integrar para, posteriormente, tomar la muestra.

Adicionalmente, en humedales léticos de aguas profundas, como represas, estanques o estuarios, es importante conocer la estructura vertical para definir las discontinuidades e interfaes fisicoquímicas que pueden llegar a afectar la distribución del plancton. La obtención de muestras en el perfil vertical estará definida por la profundidad de la estación, la profundidad de la termoclina, la oxiclina y el tamaño de la zona fótica, determinada como 2,7 veces la profundidad Secchi (De la Fuente, 2007).

## 4. Cuadrantes en sustratos duros naturales y artificiales

Esta técnica permite estimar la densidad de las algas asociadas a los diferentes sustratos presentes en una estación de muestreo. Al igual que con la comunidad de macroinvertebrados, los estudios del fitoperifiton pueden ser multihábitat o asociados a un solo tipo de sustrato según el objetivo de la investigación. De acuerdo con la variedad de sustratos, suelen clasificarse en epiliton (sobre piedras o rocas), epidendron (sobre material leñoso), epipelón (sobre sedimentos finos), episamon (sobre arenas), epifiton (sobre plantas) y epizoon (sobre animales) (Roldán & Ramírez, 2008; Bellinger & Sigee, 2015). En términos generales, la técnica consiste en tomar los diferentes sustratos presentes en la estación, extraerlos del agua y colocar sobre estos un cuadrante de área definida, para posteriormente raspar dentro del cuadrante con un cepillo o bisturí. El material raspado se lava luego en el frasco donde se adicionará la muestra, al cual se le agrega una cantidad de agua embotellada que permita el adecuado lavado de las algas del cepillo o herramienta usada para el raspado. Dicho proceso debe realizarse en repetidas ocasiones hasta alcanzar un área representativa (De la Fuente, 2007).

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Todos los grupos asociados al fitoperifiton.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Comunidades o ensamblajes de fitoperifiton.

**RECOMENDACIONES.** Debe tenerse presente que los muestreos multihábitat suelen ser más adecuados para estudiar la ecología de la comunidad, mientras que monitoreos sobre un sustrato específico (el más abundante en la estación) permiten diferenciar mayores variaciones de la comunidad (Bellinger & Sigee, 2015). Es importante que al desarrollar el muestreo se busquen lugares con una adecuada incidencia lumínica y no se efectúe en lugares muy sombreados, a menos que esa sea la característica a analizar (De la Fuente, 2007).

La toma de muestras no debe efectuarse en zonas con muy poca corriente, donde el sedimento más fino suele depositarse, pero tampoco en franjas con una corriente muy fuerte.

# C. Técnicas de muestreo genético

## C1. Muestreo genético de poblaciones silvestres

El monitoreo a largo plazo de especies mediante el uso de marcadores moleculares que permitan determinar el genotipo de los individuos puede proporcionar datos útiles para la conservación y gestión de la vida silvestre (Prugh et al., 2005). Existen diferentes herramientas de muestreo genético en las que se construye el genotipo de los organismos a partir del ADN extraído de células o tejidos recolectados de manera invasiva (p. ej., biopsias, sangre) o no invasiva (p. ej., heces, pelos, cáscaras de huevos, exuvias de insectos, polen) (Lefort et al., 2018). Con base en esta información genética, se pueden seleccionar marcadores moleculares de interés y cuantificar cambios temporales en las métricas genéticas de las poblaciones (Schwartz et al., 2007; Meziti et al., 2019; Van Rossum et al., 2020).

Los marcadores moleculares son usados para el diagnóstico o monitoreo tradicional de poblaciones (p. ej., microsatélites, AFLP). Primero mediante la identificación de individuos, poblaciones o especies y segundo mediante la estimación de diferentes parámetros biológicos de interés, incluidos parámetros demográficos, como abundancia, ocupación, hibridación, entre otros. De igual forma, también permiten monitorear parámetros genéticos poblacionales (p. ej., microsatélites, SPN, genomas), como la diversidad genética, la estructura, el flujo genético, el tamaño efectivo de la población; y respuestas a presiones selectivas, como el cambio climático (Schwartz et al., 2007; Stetz et al., 2011).

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Vertebrados, invertebrados, plantas, microorganismos.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. A nivel de individuo, población, especie.

**RECOMENDACIONES.** Para los análisis genéticos es crucial garantizar la integridad del ADN en las muestras. Las técnicas de preservación y recolección de las muestras dependen del tipo de muestreo: invasivo o no invasivo, y del grupo taxonómico de estudio. En general, las muestras deben ser tomadas con instrumentos estériles o en condiciones que busquen minimizar la contaminación cruzada del material, evitando temperaturas altas o uso de agentes químicos que sean agresivos con los ácidos nucleicos. Por lo tanto, se han establecido protocolos para la recolección (incluyendo la inclusión de controles), envío y conservación de muestras (Wong et al., 2012; González & Arenas, 2017).

En cuanto a las estrategias de genotipado, es importante considerar la apropiada selección de las regiones moleculares y sus estrategias de captura (p. ej., diseño de cebadores o sondas; Meglécz et al., 2014). En el caso de microsatélites y SNP, esto es importante para eliminar problemas de lectura de los genotipos, como *alelos falsos* que se presentan como resultado de un artefacto de deslizamiento en la técnica de amplificación del ADN durante los primeros ciclos de la reacción de amplificación (Broquet & Petit, 2004). En tales casos, el uso de técnicas de secuenciación masiva en paralelo u otro análisis posterior a la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) pueden ser necesarios para diferenciar e identificar el genotipo de cada individuo (Narum et al., 2013). Por ejemplo, nuevas técnicas de secuenciación, como el MinION de Oxford Nanopore, el cual presenta ventajas en portabilidad, facilidad y accesibilidad para la generación de datos, son atractivas para monitoreo genético *in situ* (Faria et al., 2017; Croville et al., 2018) y han permitido generar iniciativas de monitoreo genómico de patógenos virales de interés en salud pública, como ébola (Quick et al., 2016), Zika (Faria et al., 2017) y SARS-CoV-2 (Tyson et al., 2020).

## C2. Muestreo genético de comunidades

El ADN es una molécula que contiene tanto regiones altamente conservadas a diferentes escalas taxonómicas como otras altamente variables, incluso a nivel de población (Hebert et al., 2003; Taberlet et al., 2018). El monitoreo de comunidades a partir de ADN utiliza esta variación en la información genética para el reconocimiento de los grupos presentes en una comunidad. El muestreo inicia con recolección de ADN ambiental o a partir del ADN obtenido directamente de un organismo. Luego se realiza la amplificación de regiones genéticas específicas a partir del ADN extraído que permiten la identificación de los organismos presentes en la muestra para uno o múltiples grupos biológicos (Ulrich et al., 2018; Katz et al., 2021; Uchida et al., 2020). Estas regiones pueden ser asignadas a grupos taxonómicos (p. ej., especie, género, familia u otros) o no (Westcott & Schloss, 2015; Callahan et al., 2017), basando el monitoreo en la compara-

ción entre variaciones genéticas registradas a través de los múltiples muestreos (Cordier et al., 2020).

El monitoreo a partir de ADN ambiental se desarrolla principalmente a través de *metabarcoding* (Gellie et al., 2017; Taberlet et al., 2018; Pereira et al., 2021; Sales et al., 2020), donde se recupera el ADN de múltiples organismos simultánea y directamente de una muestra, y aproximaciones como PCR cuantitativa (qPCR), la cual permite obtener estimaciones de abundancia a partir de la cantidad de ADN encontrado en la muestra (Katz et al., 2021). También pueden aplicarse técnicas de metagenómica que recuperan información genética a lo largo del genoma y permiten no solo la identificación, sino también hacer aproximaciones funcionales (Arribas et al., 2016; Crampton et al., 2016). Esta última no es usada actualmente en el monitoreo de la diversidad, pero es recomendada como una aproximación de uso potencial.

El monitoreo de la comunidad a partir de ADN de organismos previamente aislados se realiza en menor proporción a través de técnicas como el *barcoding* (Gueuning et al., 2019; Janzen et al., 2020). A diferencia del muestreo de ADN ambiental, esta técnica requiere el aislamiento previo de los organismos de interés de la muestra de la comunidad para la obtención de su ADN y secuencia de forma independiente la región genética de interés para cada organismo.

Hacer un monitoreo de una comunidad a partir de información genética es ventajoso, ya que no necesita la captura previa de organismos (Uchida et al., 2020) y permite la detección de especies elusivas (Katz et al., 2021) y el muestreo en sistemas de difícil acceso, como el microbioma de vertebrados (Quiroga et al., 2021) o de aguas profundas (Guardiola et al., 2016). Así también, permite incluir microorganismos como bacterias (Gellie et al., 2017) y hongos microscópicos (Yan et al., 2018), sean o no cultivables, los cuales cumplen importantes funciones ecosistémicas (p. ej., Buscot & Varma, 2005; Sigue, 2005), pero rara vez se incluyen en los programas de monitoreos de la diversidad. Finalmente, al no requerir una asignación taxonómica de los grupos o variantes genéticas encontradas, permite estudiar y comparar sistemas, aunque estos carezcan de representación en las bases de datos taxonómicas y genéticas.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Aplicable a cualquier grupo taxonómico.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Genes, poblaciones, especies, comunidades.

**RECOMENDACIONES.** El grupo taxonómico y el nivel de organización de interés definirán la región genética más apropiada a analizar (p. ej., COI, ITS, 16S, 18S, trnL), por lo que en cada caso es necesario evaluarlo a partir de literatura o ensayos pilotos (Dickie et al., 2018). Se deben tomar precauciones para la adecuada preservación y aislamiento del ADN desde la toma de la muestra hasta su secuenciación: evitar la degradación del ADN por condiciones de temperatura, humedad, luz y pH; garantizar la manipulación estéril de la muestra; e implementar controles para verificar cualquier

contaminación a lo largo del procedimiento. Para el ADN ambiental deben extremarse las medidas, dado que se encuentra en baja cantidad y calidad.

En la secuenciación de ADN ambiental, usualmente es usada la tecnología de rendimiento masivo, la cual genera un alto volumen de información genética que parcialmente puede ser resultado de artefactos técnicos (Schnell et al., 2015). Esta característica, propia de la técnica, hace necesaria una etapa bioinformática exhaustiva donde el uso de controles facilita la depuración de secuencias, conservando solo aquellas que reflejen la realidad de la muestra.

## D. Técnicas de muestreo audiovisual pasivo

### D1. Fototrampeo

El fototrampeo es una técnica de muestreo pasiva, no invasiva, que con el uso de cámaras trampa permite el registro de mamíferos medianos y grandes, y aves terrestres, principalmente. El uso de cámaras trampa se ha consolidado como una herramienta costo-efectiva para el monitoreo de la biodiversidad, y el diseño de muestreo depende del objetivo de monitoreo, lo que determinará si las estaciones de muestreo se ubican al azar, de manera uniforme o bajo una estratificación definida. El fototrampeo permite obtener datos de presencia y ausencia de las especies en el tiempo, lo que posibilita el desarrollo de análisis que vinculan la detección imperfecta o probabilidad de detección como una variable que evita los sesgos en las estimaciones e inferencias que se generen a partir de estos datos (Guillera, 2017).

El uso de cámaras trampa para los estudios de especies amenazadas además resulta muy adecuado, porque evita el contacto de los investigadores con los individuos silvestres de estas especies y minimiza los riesgos de contagio de enfermedades, el estrés o incluso su muerte. Además, son muy eficientes en su implementación, ya que logran capturar una gran cantidad de datos de la especie objeto de estudio, no solo sobre su presencia, sino sobre su comportamiento y relacionamiento con otras especies con las que cohabita.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Mamíferos medianos y grandes, principalmente, y algunos grupos de aves, como palomas, rapaces y las que se mueven principalmente en el sotobosque y suelo.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Poblaciones y comunidades.

**RECOMENDACIONES.** Para el registro de especies terrestres se recomienda instalar la cámara trampa a una altura del suelo aproximadamente de 40 cm y una distancia al sitio de paso de los animales de 3 m; sin embargo, es necesario hacer la “prueba del gateo” para verificar que la cámara se encuentre correctamente instalada de acuerdo con los intereses (Díaz-Pulido & Payán, 2012). Para el registro de especies arbóreas, la ubicación de las cámaras trampa es un poco más compleja, porque se requiere de pequeñas plataformas en altura o hacer ascenso a dosel para ubicarlas de la mejor forma, y hay que tener en cuenta la distancia al sitio donde se considera cruzaran los individuos, aunque también se han realizado desarrollos, como el sistema de cámaras Orión, que elimina los riesgos de ascenso de los investigadores al dosel y usa materiales de bajo costo para la implementación de la técnica de muestreo, como tubos de PVC y cuerdas (Méndez, 2014). En todos los casos es importante tener en cuenta la incidencia de la luz natural durante el transcurso del día, los “objetos” que podrían activar la cámara trampa innecesariamente o interferir en la captura de buenas imágenes y, por supuesto, que el sitio seleccionado para la instalación de la cámara trampa maximice las probabilidades de la captura de imágenes (Rosselli et al., 2022).

El número de cámaras trampa que se requieren para el monitoreo depende del diseño de muestreo, pero, en general, se recomienda el uso mínimo de veinte estaciones de muestreo sencillas, aunque contar con más estaciones siempre permitirá aumentar la representatividad del área de estudio. La independencia entre las estaciones de muestreo está dada por la distancia entre ellas; en el caso de terrenos montañosos, se sugiere una distancia mínima de 500 m y en tierras bajas de 1 km. Se espera que el esfuerzo de muestreo de cada cámara trampa sea de por lo menos un mes y que no supere por mucho los 60 días, para no romper con el supuesto de población cerrada, que es tradicional en los análisis que se usan para este tipo de datos (Díaz-Pulido & Payán, 2012; Lizcano et al., 2019).

La programación recomendada para el registro de aves y mamíferos es la activación de la cámara por el sensor infrarrojo pasivo (PIR). Aunque es posible realizar la programación para generar el registro periódico de un punto en particular en determinados momentos, esta programación no asegura el registro de ningún individuo en específico, sino de un sitio en particular y sus cambios en el tiempo. Es indispensable hacer una revisión cuidadosa de la programación en términos de la temporalidad (fecha y hora) y la espacialidad (coordenadas geográficas) al momento de la instalación para posteriormente poder involucrar los resultados con estas variables.

## D2. Muestreo acústico pasivo

Es una técnica no invasiva que usa sensores acústicos programables para muestrear de forma autónoma la dimensión sonora de un sistema ecológico, desde los organismos hasta los paisajes. Esta técnica puede ser usada para muestrear ambientes terrestres (mediante micrófonos) o acuáticos (mediante hidrófonos). A nivel de organismos, población o comunidades, los muestreos se enfocan en registrar

especies que usan el canal acústico en su comunicación o forrajeo. A nivel de paisaje, se incorporan al análisis, además de los sonidos bióticos, los sonidos abióticos (p. ej., lluvia, viento, oleaje) que dan cuenta del estado del medio ambiente, así como sonidos de origen antrópico (polución sonora, tala o caza ilegal) que dan cuenta de las presiones que se ejercen sobre el entorno. Dependiendo del diseño de muestreo y la pregunta de investigación se pueden considerar puntos de conteo o transectos para toma direccional, o sensores acústicos pasivos distanciados entre sí, desde 150 m hasta varios kilómetros, cubriendo la zona de interés.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** En espectro audible: aves, mamíferos, anfibios, insectos, reptiles y peces. En ultrasonido: mamíferos (quirópteros) e insectos (ortópteros).

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Poblaciones, comunidades y paisajes.

**RECOMENDACIONES.** El muestreo pasivo ofrece una oportunidad costo-eficiente de monitorear los sistemas ecológicos. Se recomienda planificar un diseño de muestreo según los objetivos del mismo y así definir los parámetros de grabación de los sensores: el ciclo de trabajo, la frecuencia de muestreo y la ganancia. Cada sensor es capaz de colectar datos de forma autónoma durante meses; por lo tanto, es importante planificar no solo la colecta de los datos, sino también el almacenamiento y el flujo de análisis de estos (para mayor información, recomendamos revisar: Browning et al., (2017); Gibb et al., (2018); Sugai et al., (2019)).

## **E. Técnicas de muestreo en parcelas permanentes de vegetación**

### **El. Parcelas permanentes de vegetación: adultos**

Las parcelas permanentes de vegetación son técnicas de muestreo a largo plazo que contribuyen con la generación de línea base de información sobre la estructura, composición y función de la vegetación (Vallejo et al., 2005; ForestPlots.net

et al., 2021). Los cambios que experimentan estas dimensiones de la vegetación, en función del tiempo, permiten cuantificar la dinámica ecológica de los bosques en diferentes escalas de estudio, así como predecir patrones de cambio ante escenarios ambientales alternativos a los actuales (Bakker et al., 1996). Son numerosos los estándares globales, regionales y locales que definen las metodologías para la implementación de parcelas permanentes (Vallejo et al., 2005; Phillips et al., 2016; Moonlight et al., 2021, ForestPlots.net et al., 2021). De tal forma, antes de utilizar esta técnica de muestreo, se debe tener muy clara la pregunta de investigación y realizar una evaluación costo-beneficio en términos de las necesidades logísticas e inversión de tiempo para implementar una parcela, o un sistema de parcelas permanentes, frente a la generación de datos bajo un esquema de monitoreo.

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Plantas vasculares y no vasculares (arborescentes).

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Individuos, poblaciones, especies, comunidades, ecosistema.

#### RECOMENDACIONES:

**Selección de sitio.** Dado el carácter permanente de las parcelas, la selección de sitio está condicionada por su permanencia en el tiempo y la factibilidad de ingresos continuos al área de estudio para diferentes actividades, donde es fundamental realizar análisis costo-beneficio para su implementación y monitoreo (Vallejo et al., 2005). Dentro de las principales características a considerar en el análisis, se encuentran: 1) una evaluación cualitativa de las condiciones ecológicas del sitio o los sitios de muestreo en función de la pregunta de investigación que se plantea abordar; 2) validar con los tenedores de la tierra en el área de implementación la viabilidad de permanencia, estableciendo acuerdos de permanencia de las parcelas para fines de investigación; 3) determinar si el sitio seleccionado tiene representatividad, acorde con la pregunta de investigación; 4) evaluar si el sitio seleccionado para establecimiento cuenta con facilidades logísticas, de acceso e infraestructura para establecer un sistema de estudio a largo plazo donde los costos operativos sean razonables y sostenibles en el tiempo.

**Tamaño de la parcela.** El tamaño de cada unidad de muestra en parcela permanente condiciona el alcance de respuesta ecológica que está siendo evaluada (Vallejo et al., 2005; ForestPlots.net et al., 2021). Las parcelas con áreas entre 0,01 y 0,1 ha (rectangulares, cuadradas o circulares) se utilizan para inventarios forestales, caracterizaciones florísticas o estudios comparativos que requieren alto número de réplicas. Se recomienda utilizar parcelas de estos tamaños en la medida en que el diseño de muestreo exhibe una amplia heterogeneidad y escalas espaciales grandes. Generalmente, las parcelas de 0,1 ha de forma

rectangular (20 x 50 m) son las más comunes para estudios ecológicos a largo plazo (Vallejo et al., 2005; Norden et al., 2021).

Por otro lado, las parcelas de 0,25 o 1 ha (rectangulares o cuadradas), donde se obtiene un bajo número de réplicas, por los costos y tiempos asociados, son utilizadas para evaluar cambios demográficos a lo largo de gradientes ambientales, sucesiones naturales o ecosistemas contrastantes. Este tipo de parcelas se recomienda tanto para diseños de muestreo aleatorios, donde la heterogeneidad ecológica no es considerable, como estratificados, donde los factores de estratificación son lo suficientemente discrepantes para controlar el error asociado al diseño de muestreo. Sin embargo, a nivel global, las parcelas permanentes de 1 ha con forma cuadrada (100 x 100 m) distribuidas de manera aleatoria son las más comunes para realizar estudios ecológicos en ecosistemas tropicales (Moonlight et al., 2021; ForestPlots.net et al., 2021). Con estándares comparables, se estima que este tipo de parcelas alcanzan cerca de 3 000 unidades en todo el planeta, siendo del tamaño y la forma más recomendadas para emprender estudios ecológicos a largo plazo, con evidentes equilibrios en la relación costo-beneficio en términos de esfuerzo de implementación y monitoreo de los datos generados (ForestPlots.net et al., 2021).

Finalmente, las parcelas mayores de 5 ha, consideradas también megaparcelas o *super-sites*, son comunes en estudios ecológicos a largo plazo que intentan no solo comprender la ecología de los bosques tropicales y hacer comparaciones demográficas de los bosques a escala global, sino indagar sobre los efectos locales del sitio respecto de la ecología de las especies (p. ej., microclimas, topografía, patrones de distribución de las especies y denso-dependencia). Este tipo de parcelas son poco frecuentes a escala local o regional, dados los altos costos y tiempos requeridos para su implementación. Sin embargo, a escala global existen cerca de 73 sitios de estudio que hacen parte del Observatorio Global de Bosques Terrestres (ForestGEO), donde el estándar general de implementación son parcelas rectangulares de mínimo 25 ha.

*Identificación taxonómica.* Se recomienda que todas las especies de una parcela permanente sean debidamente colectadas, determinadas y homologadas a partir de colecciones botánicas y trabajo en herbario (Cardoso et al., 2017). Cada colección botánica debe corresponder a un individuo registrado en una parcela permanente; para esto, durante el primer evento de captura de datos se deben tomar muestras vegetales (p. ej., hojas, flores y frutos) de las especies partiendo del individuo uno hasta el último individuo de la parcela. Sin embargo, cada especie se debe colectar una sola vez, y los siguientes individuos de la misma especie se deben homologar con el primer registro colectado. En los casos de incertidumbre taxonómica, se deben recolectar tantos individuos como incertidumbres haya respecto de la identidad u homologación de una especie (Cardoso et al., 2017). Dada la especialidad para este tipo de variable, se recomienda contar con botánicos expertos que lleven a cabo la labor, asegurando la calidad y efectividad del muestreo.

## E2. Parcelas permanentes: plántulas y juveniles

Si el objetivo de la investigación está orientado a comparar la diversidad y la composición florística del ensamblaje de juveniles con el de adultos, se sugiere establecer parcelas de monitoreo de los individuos jóvenes que están anidadas dentro de parcelas permanentes de árboles (Capers et al., 2005; Comita et al., 2007). En el caso de una parcela permanente de 1 ha para el monitoreo de la vegetación, se propone establecer parcelas de plántulas y de juveniles en cada uno de los cuadrantes de 10 x 10 m que subdividen la parcela. Estas parcelas pueden estar anidadas dentro de cada uno de los cuadrantes de una parcela permanente, de manera que el cuadrante, la parcela de juveniles y la de plántulas comparten una esquina. Como punto de partida de cada una de las parcelas de plántulas y juveniles, se selecciona una de las cuatro esquinas de cada cuadrante. Esta elección puede ser aleatoria para cada uno de los 100 cuadrantes o puede seleccionarse la misma esquina para todos los casos (p. ej., esquina noreste o superior izquierda). Se favorece esta segunda alternativa, pues permite un muestreo más homogéneo en el espacio. Las parcelas están delimitadas con tubos de PVC (1/2") de 40-50 cm de largo. En lo posible, los tubos que delimitan los bordes internos de las parcelas de plántulas deben ser de otro color.

GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA. Plantas vasculares y no vasculares.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS. Individuos, poblaciones, especies, comunidades.

### RECOMENDACIONES:

*Tamaño de la muestra.* El tamaño de la muestra depende principalmente de la heterogeneidad ambiental y de la extensión del área de estudio (Vallejo et al., 2005). Sin embargo, existe un compromiso entre la cantidad de datos obtenidos y el tiempo, energía y recursos que se necesitan para obtenerlos. En el caso de una parcela de una hectárea, se propone que las parcelas de juveniles tengan un área de 5 x 5 m (25 m<sup>2</sup>) y las de plántulas de 2 x 2 m (4 m<sup>2</sup>), lo que representa 25 % y 4 % de la superficie de la parcela, respectivamente. Sin embargo, en algunos bosques la densidad de plántulas es bastante alta y 400 m<sup>2</sup> por hectárea pueden representar una tarea excesivamente laboriosa. Dado que una alta densidad de individuos permite que la intensidad del muestreo disminuya, las parcelas de plántulas pueden ser de 1 x 1 m (1 m<sup>2</sup>) o de 1 x 2 m (2 m<sup>2</sup>). En últimas, la decisión del número de muestras necesitará una evaluación previa para cada caso particular.

Censos. En las parcelas de juveniles se censarán todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) comprendido entre 1 y 2,5 cm. En las parcelas de plántulas se censarán todos los individuos con una altura > 5 cm y un DAP < 1 cm. Estos umbrales corresponden a estándares comúnmente utilizados (p. ej., Comita et al., 2007). Dentro de cada parcela, todos los individuos censados serán marcados y se medirá su altura (plántulas y juveniles) y DAP (juveniles). Es importante comenzar por la parcela de plántulas para dejarla delimitada y no pisar las plántulas mientras se realiza el censo de los juveniles. Tanto las plántulas como los juveniles pueden ser marcados con láminas de aluminio *foil* cortadas manualmente y atadas a cada individuo mediante pequeños amarres de alambre para los juveniles y de alambre plastificado para las plántulas. La numeración se puede hacer de manera continua o se puede reiniciar para cada parcela. Se recomienda reiniciar la numeración en cada parcela de adultos. Las plántulas y juveniles serán mapeados de manera separada en una hoja cuadriculada o milimetrada, lo que permitirá localizar los individuos más rápidamente en futuros censos.

En el caso de las plántulas, la altura se puede medir con una regla o con un metro de costura desde la superficie del suelo hasta el meristema distal, usualmente ubicado en la base de la hoja más nueva. En caso de que un individuo tenga varios tallos, se marcará y medirá cada uno de ellos, teniendo presente que la marca debe conservar el mismo número del individuo, pero se indicará que se trata de una bifurcación, con una letra al final del número. Las plantas herbáceas, rastreras o monocotiledóneas no serán incluidas, con excepción de las palmas (Arecaceae). Los tocones o rebrotes de árboles partidos que no alcanzan un DAP de 1 cm pueden ser también incluidos en el censo, únicamente en caso de que no pertenezcan a un individuo adulto ya marcado. Aunque estos individuos no pertenecen al ensamblaje de plántulas en el sentido más estricto, hacen parte integral de la regeneración del bosque, y, si no se marcan, quedarán totalmente excluidos del censo. Es importante que quede registrado en la base de datos que estos individuos son rebrotes para poderlos diferenciar de las plántulas en análisis de datos posteriores. Igualmente, se tomará nota del hábito (árbol, arbusto, liana, palma) de cada especie censada.

Se deben colectar muestras botánicas de todos los individuos marcados para su posterior identificación. Si una especie se observa de manera recurrente en las parcelas y se tiene la certeza de que los individuos en cuestión pertenecen a la misma especie, no es necesario tomar muestras de todos los individuos. Dado que es difícil tomar muestras de plántulas sin afectar su probabilidad de supervivencia, las colecciones botánicas se realizarán en individuos de la misma especie que se encuentren en la cercanía de las parcelas. Es importante tener un registro fotográfico de cada especie o morfoespecie, tomando una fotografía del plano horizontal y vertical de las plántulas, así como del haz y el envés de las hojas. Características de las plantas, como la presencia de olor, estípulas, pubescencia o coloración en el pecíolo, la inserción del pecíolo en el tallo, la venación y/o características del margen de la hoja, son fundamentales. Para una fácil asignación

en campo de los individuos a especies o morfoespecies ya registradas, se sugiere llevar una guía en una libreta de campo con una muestra de las hojas o alguna parte característica de la especie o morfoespecie en cuestión que incluya una descripción detallada de esta.

En el caso de los juveniles, el DAP será medido a una altura de 1,30 m mediante una cinta diamétrica y el lugar de medición será marcado con pintura, de manera que la medida se haga siempre en el mismo lugar. Se sugiere utilizar pintura amarilla de tráfico pesado diluida, dado que tiene mayor visibilidad y duración. Si el individuo presenta múltiples tallos con un DAP > 1 cm, estos serán igualmente medidos y marcados. Al igual que para las plántulas, en estos casos el número del individuo será el mismo, pero se adicionará una letra al final. Se colectarán muestras botánicas de todos los individuos marcados para identificación. Si un individuo tiene muy pocas hojas, se evitará la colecta en ese individuo y se procederá como en el caso de las plántulas.

Durante el recenso, se medirán de nuevo los individuos marcados anteriormente, localizándolos con la ayuda del mapa realizado durante el primer censo. Aquellos individuos que no se encuentren se registrarán como muertos en caso de encontrar la lámina que los identificaba y como ausentes en caso contrario. Los reclutas (individuos nuevos) serán medidos y marcados continuando con la numeración anterior (último número registrado para la totalidad de las parcelas o para cada parcela, según la decisión de numeración tomada). Se sugiere que los reclutas se marquen usando un alambre plastificado de color diferente al usado inicialmente. Los mapas se deben actualizar incluyendo los reclutas y dejando las plántulas ausentes en gris, como referencia para futuros censos.

## **F. Técnicas de muestreo de información secundaria**

### **F1. Uso de bases de datos y sensores remotos**

Los datos primarios derivados del trabajo de campo constituyen una fuente ideal para medir atributos de diversidad; sin embargo, la obtención de dichos datos tiende a ser costosa en términos monetarios y de tiempo. En este sentido, los investigadores y usuarios de datos primarios de biodiversidad generalmente se enfrentan a muchos obstáculos que están relacionados con el cubrimiento temporal y espacial del muestreo (Pereira et al., 2012). Esto se debe a que la mayoría

de los esquemas de monitoreo se implementan típicamente en áreas con extensiones pequeñas y están limitados a temporadas de muestreo cortas (Hudson et al., 2014). Las bases de datos de variables esenciales de la biodiversidad se han constituido como una de las herramientas más útiles para monitorear la biodiversidad en las últimas décadas (Petrou et al., 2015; Luque et al., 2018).

El uso de estas bases de datos ofrece ventajas, como el monitoreo de un amplio rango de variables y de múltiples grupos taxonómicos en grandes extensiones espaciales y temporales (Skidmore et al., 2015; Stephenson & Stengel, 2020). La aplicación de este tipo de datos cubre un gran rango de aproximaciones que incluye la cuantificación de la cantidad y la calidad del hábitat disponible a diferentes escalas (Ball et al., 2019), la generación de modelos de distribución de especies y la obtención de datos demográficos (Salguero et al., 2015) y de rasgos funcionales (Kattge et al., 2020) para monitorear otros aspectos de la biodiversidad.

En este capítulo se sigue la clasificación de Petrou et al. (2015) para identificar las variables que pueden ser monitoreadas por medio de bases de datos. Estas variables incluyen la extensión, condición y vulnerabilidad de los ecosistemas, biomas y hábitats, así como las tendencias en la abundancia, distribución y el riesgo de extinción de especies. Adicionalmente, estas fuentes secundarias pueden enriquecer los procesos de monitoreo; por ejemplo, al hacer observación de aves, se puede obtener un listado de especies que se potenciaría, a su vez, por los rasgos funcionales tomados para esas especies en otro momento. Existen diferentes bases de datos utilizables para medir seis tipos diferentes de variables esenciales de biodiversidad: “composición genética”, “poblaciones de especies”, “rasgos funcionales”, “composición de comunidades”, “estructura de ecosistemas” y “funciones ecosistémicas” (Tabla A5).

**GRUPOS TAXONÓMICOS EN LOS QUE SE USA.** Todos los taxones.

**NIVELES DE ORGANIZACIÓN PARA LOS QUE PROVEE DATOS.** Genes, especies, poblaciones, comunidades y paisajes.

**RECOMENDACIONES.** El monitoreo requiere del uso de datos provenientes de diferentes épocas que ayuden a capturar los cambios a través del tiempo. El uso de bases de datos permite tener una buena representatividad taxonómica, de manera que los cambios en biodiversidad sean comparables a múltiples escalas espaciales y entre diferentes sitios (Han et al., 2017; Latombe et al., 2017). Sin embargo, existen sesgos en la distribución de datos espaciales de fauna y flora, especialmente en áreas altamente biodiversas (Pimm et al., 2014; Amano et al., 2016).

La identificación de sesgos temporales y espaciales de los datos provenientes de bases de datos es fundamental, puesto que una buena cobertura temporal y espacial es necesaria para monitorear aspectos como las variaciones en los patrones de distribución de las especies con respecto a los cambios en las condiciones ambientales (Boakes et al., 2010; Brummitt et al., 2015). La identificación de

sesgos temporales puede ayudar, además, a identificar si es posible proveer una línea base robusta sobre la riqueza de especies en un área determinada. En este sentido, se debe evaluar la representatividad y el sesgo de los datos provenientes de bases de datos en al menos tres niveles: taxonómico, temporal y espacial.

La decisión sobre usar o no datos de bases de datos de biodiversidad debe derivarse de la definición explícita *a priori* de un grupo común de indicadores con potencial de ser actualizado regularmente. Finalmente, aunque cada vez existen datos con una mayor resolución temporal y espacial, lo que facilita una mayor diversidad de aplicaciones, se deben tener en cuenta los altos costos y el tiempo relacionados con el procesamiento de los datos (Pasher et al., 2013; Proença et al., 2017).

Base de datos	Tipo de información	Grupo taxonómico/ hábitat	Nivel de información
GBIF	Registros de presencia.	Varios	Especies/ poblaciones
SIB	Registros de presencia.	Varios	Especies/ poblaciones
IUCN	Rangos geográficos, demográficos, tipos de hábitat, estado de conservación.	Varios	Especies
Compadre/ Comadre	Demografía.	Varios	Especies/ poblaciones
TRY	Rasgos funcionales.	Varios	Especies/ poblaciones
IBAT	Distribución de especies amenazadas y su relación con respecto a áreas protegidas.	Varios	Especies/ Poblaciones
Living Planet Index	Demografía.	Varios	Especies/ poblaciones
BioModelos	Rangos geográficos, tipos de hábitat, estado de conservación.	Varios	Especies
Wocat	Cobertura espacial de degradación del suelo y áreas con manejo sostenible.	Hábitat	Hábitats
Predicts	Respuesta de especies a presiones humanas.	Varios	Especies
GRIIS/ GISD	Inventarios de especies introducidas e invasoras.	Varios	Especies
iNaturalist	Observaciones de ciencia ciudadana.	Varios	Especies
eBird	Listas de chequeo provenientes de ciencia ciudadana.	Aves	Especies

Tabla A5.

Bases de datos disponibles para el monitoreo de la biodiversidad

# Referencias

- Acevedo-Charry, O., Peña-Alzate, F. Á., Beckers, J., Cabezas, M., Coral-Jaramillo, B., Janni, O., ..., & Colón-Piñeiro, Z. (2021). Avifauna del interfluvio de la cuenca media Caquetá Putumayo (Japu-rá-Içá), al sur de la Amazonia colombiana y su respuesta a la huella humana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1307>
- Adams, A. M., Jantzen, M. K., Hamilton, R. M., & Fenton, M. B. (2012). Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(6), 992-998. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00244.x>
- Amano, T., Lamming, J. D. L., & Sutherland, W. J. (2016). Spatial gaps in global biodiversity information and the role of citizen science. *BioScience*, 66(5), 393-400. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw022>
- Angulo, A., Rueda-Almonacid, J. V., Rodríguez-Mahecha, J. V., & La Marca, E. (2006). *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina*. Panamericana.
- APHA, A. W. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Arribas, P., Andújar, C., Hopkins, K., Shepherd, M., & Vogler, A. P. (2016). Metabarcoding and mitochondrial metagenomics of endogean arthropods to unveil the mesofauna of the soil. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9), 1071-1081. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12557>
- Aunap, & Unimagdalena (2014). Caracterización de los principales artes de pesca de Colombia y reporte del consolidado del tipo y número de artes, embarcaciones y UEP's empleadas por los pescadores vinculados a la actividad pesquera. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y la Universidad del Magdalena.
- Bakker, J. P., Olff, H., Willems, J. H., & Zobel, M. (1996). Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics? *Journal of Vegetation Science*, 7(2), 147-156. <https://doi.org/10.2307/3236314>
- Ball-Damerow, J. E., Brenskelle, L., Barve, N., Soltis, P. S., Sierwald, P., Bieler, R., ..., & Guralnick, R. P. (2019). Research applications of primary biodiversity databases in the digital age. *Plos One*, 14(9), e0215794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215794>
- Bellinger, E. G., & Sige, D. C. (2015). *Freshwater algae: Identification, enumeration and use as bioindicators* (2 ed.). John Wiley & Sons.
- Berry, N., O'Connor, W., Holderied, M. W., & Jones, G. (2004). Detection and avoidance of harp traps by echolocating bats. *Acta Chiropterologica*, 6(2), 335-346. <https://doi.org/10.3161/1508110042955478>
- Boakes, E. H., McGowan, P. J. K., Fuller, R. A., Chang-qing, D., Clark, N. E., O'Connor, K., & Mace, G. M. (2010). Distorted views of biodiversity: Spatial and temporal bias in species occurrence data. *Plos Biology*, 8(6), e1000385. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000385>
- Bracamonte, B. C. (2018). Protocolo de muestreo para la estimación de la diversidad de murciélagos con redes de niebla en estudios de ecología. *Ecología Austral*, 28(2), 446-454.
- Broquet, T., & Petit, E. (2004). Quantifying genotyping errors in noninvasive population genetics. *Molecular Ecology*, 8.
- Browning, E., Gibb, R., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2017). *Passive acoustic monitoring in ecology and conservation*. [Reporte, WWF-UK]. <https://doi.org/10.25607/OPB-876>

- Brummitt, N., Bachman, S. P., Aletrari, E., Chadburn, H., Griffiths-Lee, J., Lutz, M., ... & Nic Lughadha, E. M. (2015). The sampled red list index for plants, phase II: Ground-truthing specimen-based conservation assessments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1662), 20140015. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0015>
- Buscot, F., & Varma, A. (Eds.) (2005). *Microorganisms in soils: Roles in genesis and functions*. Springer.
- Callahan, B. J., McMurdie, P. J., & Holmes, S. P. (2017). Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. *ISME Journal*, 11(12), 2639-2643. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.119>
- Capers, R. S., Chazdon, R. L., Brenes, A. R., & Alvarado, B. V. (2005). Successional dynamics of woody seedling communities in wet tropical secondary forests. *Journal of Ecology*, 93(6), 1071-1084. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01050.x>
- Cardoso, D., Särkinen, T., Alexander, S., Amorim, A. M., Bittrich, V., Celis, M., ... & Forzza, R.C. (2017). Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(40), 10695-10700. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706756114>
- Clarke, F. M., Rostant, L. V., & Racey, P. A. (2005). Life after logging: Post-logging recovery of a neotropical bat community. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 409-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01024.x>
- Comita, L. S., Condit, R., & Hubbell, S. P. (2007). Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology*, 95(3), 482-492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01229.x>
- Cordier, T., Alonso-Sáez, L., Apothéloz-Perret-Gentil, L., Aylagas, E., Bohan, D. A., Bouchez, A. ...., & Lanzén, A. (2020). Ecosystems monitoring powered by environmental genomics: A review of current strategies with an implementation roadmap. *Molecular Ecology*, 15472. <https://doi.org/10.1111/mec.15472>
- Crampton-Platt, A., Yu, D. W., Zhou, X., & Vogler, A. P. (2016). Mitochondrial metagenomics: Letting the genes out of the bottle. *GigaScience*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s13742-016-0120-y>
- Croville, G., Le Loc'h, G., Zanchetta, C., Manno, M., Camus-Bouclainville, C., Klopp, C., ...., & Guérin, J.-L. (2018). Rapid whole-genome based typing and surveillance of avipox viruses using nanopore sequencing. *Journal of Virological Methods*, 261, 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2018.08.003>
- De la Fuente Álvaro, M. J. (2007). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva del Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro: Protocolos de muestreo y análisis para: fitoplancton, fitobentos (microalgas bentónicas), macrófitos, invertebrados bentónicos, ictiofauna*. Ministerio de Medio Ambiente.
- Díaz, M., & Asensio, B. (2000). Objetivos del anillamiento científico de aves. En *Manual para el anillamiento científico de aves* (pp. 1-6). SEO/BirdLife.
- Díaz-Pulido, A., & Payán Garrido, E. (2012). *Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. Instituto Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31415>
- Dickie, I. A., Boyer, S., Buckley, H. L., Duncan, R. P., Gardner, P. P., Hogg, I. D. ...., & Weaver, L. (2018). Towards robust and repeatable sampling methods in eDNA-based studies. *Molecular Ecology Resources*, 18(5), 940-952. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12907>
- Doan, T. M. (2003). Which methods are most effective for surveying rain forest herpetofauna? *Journal of Herpetology*, 37(1), 72-81. [https://doi.org/10.1670/0022-1511\(2003\)037\[0072:WMAMEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1670/0022-1511(2003)037[0072:WMAMEF]2.0.CO;2)
- Domínguez, E., & Fernández, H. R. (Eds.) (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo.

- Dunn, E. H., & Ralph, C. J. (2004). Use of mist nets as a tool for bird population monitoring. *Studies in Avian Biology*, 29, 1-6.
- Emmons, L., Swamer, M. J., Vargas-Espinoza, A., & Tschapka, M. (2006). Las comunidades de murciélagos de bosque y sabana del Parque Nacional Noel Kempff. *Revista Boliviana de Ecología*, 19, 47-57.
- Fair, J., Paul, E., & Jones, J. (Eds.) (2010). *Guía para la utilización de aves silvestres en investigación* (3 ed.). El Consejo de Ornitología. [www.nmnh.si.edu / BIRDNET/guideline](http://www.nmnh.si.edu/BIRDNET/guideline)
- Faria, N. R., Quick, J., Claro, I. M., Thézé, J., De Jesús, J. G., Giovanetti, M. ...., & Pybus, O. G. (2017). Establishment and cryptic transmission of Zika virus in Brazil and the Americas. *Nature*, 546(7658), 406-410. <https://doi.org/10.1038/nature22401>
- Fierro-Calderón, K., Loaiza-Muñoz, M., Sánchez-Martínez, M. A., Ocampo, D., David, S., Greeney, H. F., & Londoño, G. A. (2021). Methods for collecting data about the breeding biology of Neotropical birds. *Journal of Field Ornithology*, jofo.12383. <https://doi.org/10.1111/jofo.12383>
- ForestPlots.net, Blundo, C., Carilla, J., Grau, R., Malizia, A., Malizia, L. ...., & Tran, H. D. (2021). Taking the pulse of Earth's tropical forests using networks of highly distributed plots. *Biological Conservation*, 260, 108849. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108849>
- Fragoso, J. M. V., Gonçalves, F., Oliveira, L. F. B., Overman, H., Levi, T., & Silvius, K. M. (2019). Visual encounters on line transect surveys under-detect carnivore species: Implications for assessing distribution and conservation status. *Plos One*, 14(10), e0223922. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223922>
- Frick, W. F. (2013). Acoustic monitoring of bats, considerations of options for long-term monitoring. *Therya*, 4(1), 69-70. <https://doi.org/10.12933/therya-13-109>
- Gellie, N. J. C., Mills, J. G., Breed, M. F., & Lowe, A. J. (2017). Revegetation rewilds the soil bacterial microbiome of an old field. *Molecular Ecology*, 26(11), 2895-2904. <https://doi.org/10.1111/mec.14081>
- Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P., & Jones, K. E. (2018). Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(2), 169-185. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13101>
- González, M. A., & Arenas-Castro, H. (2017). *Recolección de tejidos biológicos para análisis genéticos*. Instituto Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/33659>
- Guardiola, M., Wangensteen, O. S., Taberlet, P., Coissac, E., Uriz, M. J., & Turon, X. (2016). Spatio-temporal monitoring of deep-sea communities using metabarcoding of sediment DNA and RNA. *PeerJ*, 4, e2807. <https://doi.org/10.7717/peerj.2807>
- Gueuning, M., Ganser, D., Blaser, S., Albrecht, M., Knop, E., Praz, C., & Frey, J. E. (2019). Evaluating next-generation sequencing (NGS) methods for routine monitoring of wild bees: Metabarcoding, mitogenomics or NGS barcoding. *Molecular Ecology Resources*, 19(4), 847-862. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13013>
- Guillera-Arroita, G. (2017). Modelling of species distributions, range dynamics and communities under imperfect detection: Advances, challenges and opportunities. *Ecography*, 40(2), 281-295. <https://doi.org/10.1111/ecog.02445>
- Han, X., Josse, C., Young, B. E., Smyth, R. L., Hamilton, H. H., & Bowles-Newark, N. (2017). Monitoring national conservation progress with indicators derived from global and national datasets. *Biological Conservation*, 213, 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.023>
- Hebert, P. D. N., Cywinski, A., Ball, S. L., & deWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1512), 313-321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>

- Heyer, W. R. (Ed.) (1994). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press.
- Hötzel, G., & Croome, R. (1999). *A phytoplankton methods manual for Australian freshwaters*. Land and Water Resources Research and Development Corp.
- Hudson, J. R., Hanula, J. L., & Horn, S. (2014). Impacts of removing Chinese privet from riparian forests on plant communities and tree growth five years later. *Forest Ecology and Management*, 324, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.013>
- Janzen, D. H., Hallwachs, W., Pereira, G., Blanco, R., Masis, A., Chavarria, M. M., ..., & Hasegawa, M. (2020). Using DNA-barcoded Malaise trap samples to measure impact of a geothermal energy project on the biodiversity of a Costa Rican old-growth rain forest1. *Genome*. <https://doi.org/10.1139/gen-2020-0002>
- Kattge, J., Bönisch, G., Díaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., ..., & Wirth, C. (2020). TRY plant trait database—enhanced coverage and open access. *Global Change Biology*, 26(1), 119-188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
- Katz, A. D., Harper, L. R., Sternhagen, E. C., Pearce, S. E., Melder, C. A., Sperry, J. H., & Davis, M. A. (2021). Environmental DNA is effective in detecting the federally threatened Louisiana Pinesnake (*Pituophis ruthveni*). *Environmental DNA*, 3(2), 409-425. <https://doi.org/10.1002/edn3.126>
- Latombe, G., Pyšek, P., Jeschke, J. M., Blackburn, T. M., Bacher, S., Capinha, C., ..., & McGeoch, M. A. (2017). A vision for global monitoring of biological invasions. *Biological Conservation*, 213, 295-308. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.013>
- Lefort, M. C., Cruickshank, R. H., Descovich, K., Adams, N. J., Barun, A., Emami-Khoyi, A., ..., & Boyer, S. (2018). Blood, sweat and tears: A review of non-invasive DNA sampling. *Peer Community in Ecology*. <https://doi.org/10.1101/385120>
- Lips, K. R., Reaser, J. K., Young, B. E., & Ibáñez, R. (2001). *Amphibian Monitoring in Latin America: A Protocol Manual*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Lisón, F., & Calvo, J. F. (2011). The significance of water infrastructures for the conservation of bats in a semiarid Mediterranean landscape: Bats and water infrastructures. *Animal Conservation*, 14(5), 533-541. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2011.00460.x>
- Lizcano, D., Díaz-Pulido, A., & Gómez, B. (2019). *Protocolo de monitoreo de Biodiversidad*. The Nature Conservancy.
- Luque, S., Pettorelli, N., Vihervaara, P., & Wegmann, M. (2018). Improving biodiversity monitoring using satellite remote sensing to provide solutions towards the 2020 conservation targets. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1784-1786. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13057>
- MacSwiney, M. C., Clarke, F. M., & Racey, P. A. (2008). What you see is not what you get: The role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 45(5), 1364-1371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01531.x>
- Martínez-Medina, D., Sánchez, J., Zúrc, D., Sánchez, F., Ardila, A. O.-, Restrepo-Giraldo, C., ..., & Lizcano, D. J. (2021). Estándares para registrar señales de ecolocalización y construir bibliotecas de referencia de murciélagos en Colombia. *Biota Colombiana*, 22(1), 36-56. <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a03>
- Meglécz, E., Pech, N., Gilles, A., Dubut, V., Hingamp, P., Trilles, A., ..., & Martin, J.-F. (2014). QDD version 3.1: A user-friendly computer program for microsatellite selection and primer design revisited: experimental validation of variables determining genotyping success rate. *Molecular Ecology Resources*, 14(6), 1302-1313. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12271>

- Méndez-Carvajal, P. (2014). The Orion Camera System, a new method for deploying camera traps in tree canopy to study arboreal primates and other mammals: A case study in Panama. *Mesoamerican*, 18(1), 9-23.
- Meziti, A., Tsementzi, D., Rodríguez-R, L. M., Hatt, J., K., Karayanni, H., Kormas, K. A., & Konstantinidis, K. T. (2019). Quantifying the changes in genetic diversity within sequence-discrete bacterial populations across a spatial and temporal riverine gradient. *ISME*, 13, 767-779. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0307-6>
- Miller, B. W. (2001). A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica*, 3(1), 93-105.
- Moonlight, P. W., Banda-R, K., Phillips, O. L., Dexter, K. G., Pennington, R. T., Baker, T. R., ..., & Veenendaal, E. (2021). Expanding tropical forest monitoring into Dry Forests: The Dryflor protocol for permanent plots. *Plants, People, Planet*, 3(3), 295-300. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10112>
- Narum, S. R., Buerkle, C. A., Davey, J. W., Miller, M. R., & Hohenlohe, P. A. (2013). Genotyping-by-sequencing in ecological and conservation genomics. *Molecular Ecology*, 22(11), 2841-2847. <https://doi.org/10.1111/mec.12350>
- Norden, N., Chave, J., Belbenoit, P., Caubère, A., Châtelet, P., Forget, P.-M., Riéra, B., ..., & Thébaud, C. (2009). Interspecific variation in seedling responses to seed limitation and habitat conditions for 14 Neotropical woody species. *Journal of Ecology*, 97(1), 186-197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01444.x>
- Norden, N., González-M., R., Avella-M., A., Salgado-Negret, B., Alcázar, C., Rodríguez-Buriticá, S., ..., & García, H. (2021). Building a socio-ecological monitoring platform for the comprehensive management of tropical dry forests. *Plants, People, Planet*, 3(3), 238-248. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10113>
- Palma-Gonzales, C., Ortega Torres, H., Samanez Valer, I., Arana Maestre, J., Hidalgo del Águila, M., Correa Roldán, V., & Rimarachín Ching, V. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Ministerio del Ambiente.
- Pasher, J., Mitchell, S. W., King, D. J., Fahrig, L., Smith, A. C., & Lindsay, K. E. (2013). Optimizing landscape selection for estimating relative effects of landscape variables on ecological responses. *Landscape Ecology*, 28(3), 371-383. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9852-6>
- Pereira, H. M., Navarro, L. M., & Martins, I. S. (2012). Global Biodiversity Change: The bad, the good, and the unknown. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 25-50. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-042911-093511>
- Pereira-da-Conceicoa, L., Elbrecht, V., Hall, A., Briscoe, A., Barber-James, H., & Price, B. (2021). Metabarcoding unsorted kick-samples facilitates macroinvertebrate-based biomonitoring with increased taxonomic resolution, while outperforming environmental DNA. *Environmental DNA*, 3(2), 353-371. <https://doi.org/10.1002/edn3.116>
- Petrou, Z. I., Manakos, I., & Stathaki, T. (2015). Remote sensing for biodiversity monitoring: A review of methods for biodiversity indicator extraction and assessment of progress towards international targets. *Biodiversity and Conservation*, 24(10), 2333-2363. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0947-z>
- Phillips, O., Baker, T., Feldpausch, T., & Brienen, R. (2016). *Manual de campo para el establecimiento y la remediación de parcelas*. Rainfor. [https://forestplots.net/upload/es/recursos/RAINFOR\\_field\\_manual\\_ES.pdf](https://forestplots.net/upload/es/recursos/RAINFOR_field_manual_ES.pdf)

- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., ..., & Sexton, J. O. (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187). <https://doi.org/10.1126/science.1246752>
- Proença, V., Martin, L. J., Pereira, H. M., Fernandez, M., McRae, L., Belnap, J., ..., & Van Swaay, C. A. M. (2017). Global biodiversity monitoring: From data sources to essential biodiversity variables. *Biological Conservation*, 213, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.014>
- Prugh, L. R., Ritland, C. E., Arthur, S. M., & Krebs, C. J. (2005). Monitoring coyote population dynamics by genotyping faeces. *Molecular Ecology*, 12.
- Quick, J., Loman, N. J., Duraffour, S., Simpson, J. T., Severi, E., Cowley, L., ..., & Carroll, M. W. (2016). Real-time, portable genome sequencing for Ebola surveillance. *Nature*, 530(7589), 228-232. <https://doi.org/10.1038/nature16996>
- Quiroga-González, C., Cárdenas, L. A. C., Ramírez, M., Reyes, A., González, C., & Stevenson, P. R. (2021). Monitoring the variation in the gut microbiota of captive woolly monkeys related to changes in diet during a reintroduction process. *Scientific Reports*, 11(1), 6522. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85990-0>
- Ralph, C. J., Dunn, E. H., Peach, W. J., & Handel, C. M. (2004). Recommendations for the use of mist nets for inventory and monitoring of bird populations. *Studies in Avian Biology*, 29, 187-196.
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., & DeSante, D. F. (1993). *Handbook of field methods for monitoring landbirds*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-144>
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., DeSante, D., & Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Ramírez, A. (2010). Capítulo 2: Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*, 58 (supl. 4), 41-50.
- Rincón, M. E. (1996). Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la quebrada Carrizal (Boyacá). Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 22(1), 53-60.
- Rodríguez-Posada, M. E., & Santa-Sepúlveda, M. A. (2013). Reporte de lesiones en murciélagos causadas por el uso incorrecto de collares plásticos como método de marcaje. *Therya*, 4(2), 395-400. <https://doi.org/10.12933/therya-13-124>
- Roldán, G., y Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2 ed.). Universidad de Antioquia.
- Rosselli, L., Rodríguez Castañeda, C., Soto Vargas, C., Díaz Pulido, A., Campo Soto, P., Moreno Botero, ..., & Gutiérrez Aguilar, J. D. (2022). *Sistema de monitoreo basado en una red de colaboración: biodiversidad del triángulo del puma*. GIZ. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35989>
- Rueda-Delgado, G. (2002). *Manual de métodos en Limnología*. Asociación Colombiana de Limnología ACL-Limnos.
- Ruiz-Gutiérrez, V., Berlanga, H., Calderón-Parra, R., Savarino-Drago, A., Aguilar-Gómez, M. A., & Rodríguez-Contreras, V. (2020). *Manual Ilustrado para el Monitoreo de Aves*. Proalas: Programa de América Latina para las Aves Silvestres. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Laboratorio de Ornitológica de Cornell.
- Rydell, J. (1993). Variation in foraging activity of an aerial insectivorous bat during reproduction. *Journal of Mammalogy*, 74, 503-509.

- Sales, N. G., McKenzie, M. B., Drake, J., Harper, L. R., Browett, S. S., Coscia, I., ..., & McDevitt, A. D. (2020). Fishing for mammals: Landscape-level monitoring of terrestrial and semi-aquatic communities using eDNA from riverine systems. *Journal of Applied Ecology*, 57(4), 707-716. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13592>
- Salguero-Gómez, R., Jones, O. R., Archer, C. R., Buckley, Y. M., Che-Castaldo, J., Caswell, H., ..., & Vaupel, J. W. (2015). The compadre plant matrix database: An open online repository for plant demography. *Journal of Ecology*, 103(1), 202-218. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12334>
- Schnell, I. B., Bohmann, K., & Gilbert, M. T. P. (2015). Tag jumps illuminated. Reducing sequence-to-sample misidentifications in metabarcoding studies. *Molecular Ecology Resources*, 15(6), 1289-1303. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12402>
- Schwartz, M., Luikart, G., & Waples, R. (2007). Genetic monitoring as a promising tool for conservation and management. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.08.009>
- Sigee, D. C. (2005). *Freshwater microbiology: Biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment*. Jhon Wiley.
- Simmons, N. B., & Voss, R. S. (1998). The mammals of Paracou, French Guiana, a Neotropical lowland rainforest fauna. Part 1, Bats. *Bulletin of the AMNH*, 237.
- Skidmore, A. K., Pettorelli, N., Coops, N. C., Geller, G. N., Hansen, M., Lucas, R., ..., & Wegmann, M. (2015). Environmental science: Agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature News*, 523(7561), 403. <https://doi.org/10.1038/523403a>
- Stahlschmidt, P., & Brühl, C. A. (2012). Bats as bioindicators. The need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 503-508. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00188.x>
- Stephenson, P. J., & Stengel, C. (2020). An inventory of biodiversity data sources for conservation monitoring. *Plos One*, 15(12), e0242923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242923>
- Stetz, J. B., Kendall, K. C., Vojta, C. D., & Genetic Monitoring (GeM) Working Gr. (2011). Genetic monitoring for managers: A new online resource. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 2(2), 216-219. <https://doi.org/10.3996/082011-JFWM-048>
- Sugai, L. S. M., Silva, T. S. F., Ribeiro, J. W., Jr, & Llusia, D. (2019). Terrestrial passive acoustic monitoring: Review and perspectives. *BioScience*, 69(1), 15-25. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy147>
- Sutherland, W. J. (2006). *Ecological census techniques a handbook*. Cambridge University Press.
- Taberlet, P., Bonin, A., Zinger, L., & Coissac, E. (2018). *Environmental DNA* (vol. 1). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198767220.001.0001>
- Tuneu-Corral, C., Puig-Montserrat, X., Flaquer, C., Mas, M., Budinski, I., & López-Baucells, A. (2020). Ecological indices in long-term acoustic bat surveys for assessing and monitoring bats' responses to climatic and land-cover changes. *Ecological Indicators*, 110, 105849. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105849>
- Tyson, J. R., James, P., Stoddart, D., Sparks, N., Wickenhagen, A., Hall, G., ..., & Quick, J. (2020). Improvements to the ARTIC multiplex PCR method for SARS-CoV-2 genome sequencing using nanopore. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.09.04.283077>
- Uchida, N., Kubota, K., Aita, S., & Kazama, S. (2020). Aquatic insect community structure revealed by eDNA metabarcoding derives indices for environmental assessment. *PeerJ*, 8, e9176. <https://doi.org/10.7717/peerj.9176>

- Ulrich, N., Kirchner, V., Drucker, R., Wright, J. R., McLimans, C. J., Hazen, T. C., ..., & Lamendella, R. (2018). Response of aquatic bacterial communities to hydraulic fracturing in Northwestern Pennsylvania: A five-year study. *Scientific Reports*, 8(1), 5683. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23679-7>
- Urbina-Cardona, J. N., Bernal, E. A., Giraldo-Echeverry, N., & Echeverry-Alcendra, A. (2015). El monitoreo de herpetofauna en los procesos de restauración ecológica: Indicadores y métodos. En *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres* (pp. 134-147). Instituto Humboldt.
- Vallejo Joyas, M. I., Londoño Vega, A. C., López Camacho, R., Galeano, G., Álvarez Dávila, E., & Devia Álvarez, W. (2005). *Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia* (vol. I). Instituto Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34195>
- Van Rossum, F., Hardy, O. J., Le Pajolec, S., & Raspé, O. (2020). Genetic monitoring of translocated plant populations in practice. *Molecular Ecology*, 29(21), 4040-4058. <https://doi.org/10.1111/mec.15550>
- Westcott, S. L., & Schloss, P. D. (2015). De novo clustering methods outperform reference-based methods for assigning 16S rRNA gene sequences to operational taxonomic units. *PeerJ*, 3, e1487. <https://doi.org/10.7717/peerj.1487>
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). *Limnological analyses* (3 ed.). Springer.
- Wong, P., Wiley, E. O., Johnson, W. E., Ryder, O. A., O'Brien, S. J., Haussler, D., ..., & Murphy, R. W. (2012). Tissue sampling methods and standards for vertebrate genomics. *GigaScience*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/2047-217X-1-8>
- Wright, S. J., Muller-Landau, H. C., Calderón, O., & Hernández, A. (2005). Annual and spatial variation in seedfall and seedling recruitment in a neotropical forest. *Ecology*, 86(4), 848-860. <https://doi.org/10.1890/03-0750>
- Yan, D., Mills, J. G., Gellie, N. J. C., Bissett, A., Lowe, A. J., & Breed, M. F. (2018). High-throughput eDNA monitoring of fungi to track functional recovery in ecological restoration. *Biological Conservation*, 217, 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.10.035>



Fotografía: John Bernal, Instituto Humboldt.

# Análisis y modelamiento de datos para obtener respuestas con el monitoreo

---

Elkin Alexi Noguera-Urbano<sup>1</sup>, Angélica Díaz-Pulido<sup>1</sup>,  
Bibiana Gómez Valencia<sup>1</sup>, María Helena Olaya-Rodríguez<sup>1</sup>, Cristian A. Cruz-  
Rodríguez<sup>1,2</sup>, María I. Arce-Plata<sup>1,2</sup>, Andrés Felipe Santo Domingo J.<sup>1</sup>, Andrés F.  
Suárez Castro<sup>1,3</sup>, Camilo A. Correa-Ayram<sup>1,4</sup>, Carlos J. Muñoz-R.<sup>1</sup>, Gabriel-Alejandro  
Perilla<sup>1,5</sup>, Héctor Manuel Arango Martínez<sup>1</sup>, Jorge Armando Amador Moncada<sup>1</sup>,  
Juan Sebastián Ulloa Chacón<sup>1</sup>, Jhonatan Julián Díaz-Timoté<sup>1,6</sup>, Luis H. Romero-  
Jiménez<sup>1</sup>, Yenifer Herrera-Varón<sup>1,7</sup>,

<sup>1</sup>Instituto Humboldt.  
<sup>2</sup>Université de Montréal, Canada.  
<sup>3</sup>Griffith University, Australia.  
<sup>4</sup>Pontificia Universidad Javeriana.  
<sup>5</sup>Wildlife Conservation Society  
<sup>6</sup>Universidad del Rosario.  
<sup>7</sup>Investigadora Independiente

# 6.1. Introducción

Los procesos de monitoreo y evaluación de biodiversidad pueden combinar diferentes tipos de datos, fuentes, métodos, procesos, análisis y modelos para caracterizar el estado y la respuesta de la biodiversidad a los cambios ambientales (Ruiz et al., 2016; Proença et al., 2017) y proponer escenarios, evaluar tendencias e identificar el impacto de las acciones humanas (Gitzen et al., 2012). Por ello, las diferentes estrategias de análisis de los datos obtenidos a través de modelos facilitan la interpretación de la realidad. En esa dirección, este capítulo presenta técnicas usadas en cuatro tipos de análisis: descriptivos, que indican qué está pasando con los datos; diagnósticos, que explican por qué ocurrió un fenómeno a partir de los datos; predictivos, que generalizan patrones o predicen respuestas futuras; y prescriptivos, que permiten generar escenarios y considerar planes futuros.

Se brindan para ello los conceptos necesarios para que los lectores identifiquen el alcance de su proyecto y los relacionen con las respuestas de los cuatro tipos de análisis. Es importante tener en cuenta que la complejidad de las técnicas y la necesidad de conocimiento estadístico incrementa con cada tipo de análisis. Se enfatiza en las técnicas de análisis y modelamiento como herramientas poderosas para evaluar, proponer decisiones y desarrollar procesos que aumenten el conocimiento de la biodiversidad y sus funciones (Brummitt et al., 2017).

En este contexto, el presente capítulo se enfoca en revisar los atributos generales que deben tener los datos de las variables seleccionadas para que el proceso de análisis y modelamiento pueda detectar cambios en el tiempo. Además de revisar algunas técnicas de análisis y sus alcances según el tipo, se presentan ejemplos de variables y se discute su incertidumbre en el contexto del monitoreo de biodiversidad. El objetivo de este capítulo es proveer al lector aspectos generales de análisis y modelamiento aplicado al monitoreo, con referencias actuales que puedan ser usadas para profundizar en el tema. Se hace énfasis en buenas prácticas de análisis, modelamiento y consideración de incertidumbre.

## 6.2. Datos y variables

### 6.2.1. Propiedades de los datos

Como se ha enunciado en los capítulos anteriores, los datos permiten describir características o propiedades de la unidad de muestreo (Palacio et al., 2020).

Para su análisis estos pueden ser obtenidos por medio de diferentes equipos y sensores (Capítulo 5) e incluso en portales y repositorios de información (Jin & Yang, 2020), como el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), BioModelos, SiB Colombia, GBIF, etc. (Capítulos 5 y 9). Ahora bien, el monitoreo y evaluación de la biodiversidad parten de un conjunto de datos que necesariamente se generan en diferentes períodos de tiempo o que se recopilan de muestras a lo largo de gradientes ambientales.

En la consolidación de los datos de monitoreo se recomienda seguir los lineamientos definidos por el estándar Darwin Core (Capítulo 9). Cuando los datos están tabulados, se aconseja usar como codificador de caracteres el Formato de Transformación Unicode UTF-8 (taxonomía, localidad, datos biológicos, *verbatim data*, longitud y latitud, sistema de coordenadas y fecha del evento, etc.). La información temporal se sugiere que quede almacenada en columnas separadas (hora, minutos, segundos, días, meses y años), empleando símbolos numéricos. De manera paralela, se sugiere emplear como sistema de referencia el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84) en grados decimales. En lo posible, la base de datos se debe acompañar de un diccionario de datos con las definiciones precisas de la información que se está almacenando en cada campo, los valores por defecto y el tipo de datos (texto, números, operadores booleanos o fechas). Por último, es importante que, cuando se traza el cronograma asociado a una estrategia de monitoreo (Capítulo 12), se tengan en cuenta el tiempo y los recursos necesarios para pasar los datos tal como son recolectados en campo, a los datos en formatos utilizables en procesos de análisis y modelamiento.

## 6.2.2. Generación de variables

Los datos obtenidos en el monitoreo deben mantener los atributos taxonómicos, geográficos y temporales para así ajustarse a los estándares (Proença et al., 2017). Los tres atributos permiten conocer la cobertura taxonómica y geográfica, el esfuerzo del muestreo y su temporalidad (Caja 6.1). Los datos por sí mismos carecen de una historia; por lo tanto, cuando se exploran los valores de las observaciones en conjunto para estudiar y reportar el fenómeno, los datos toman el nombre de “variable”, independientemente de su representación en gráficos o sistematización en tablas.

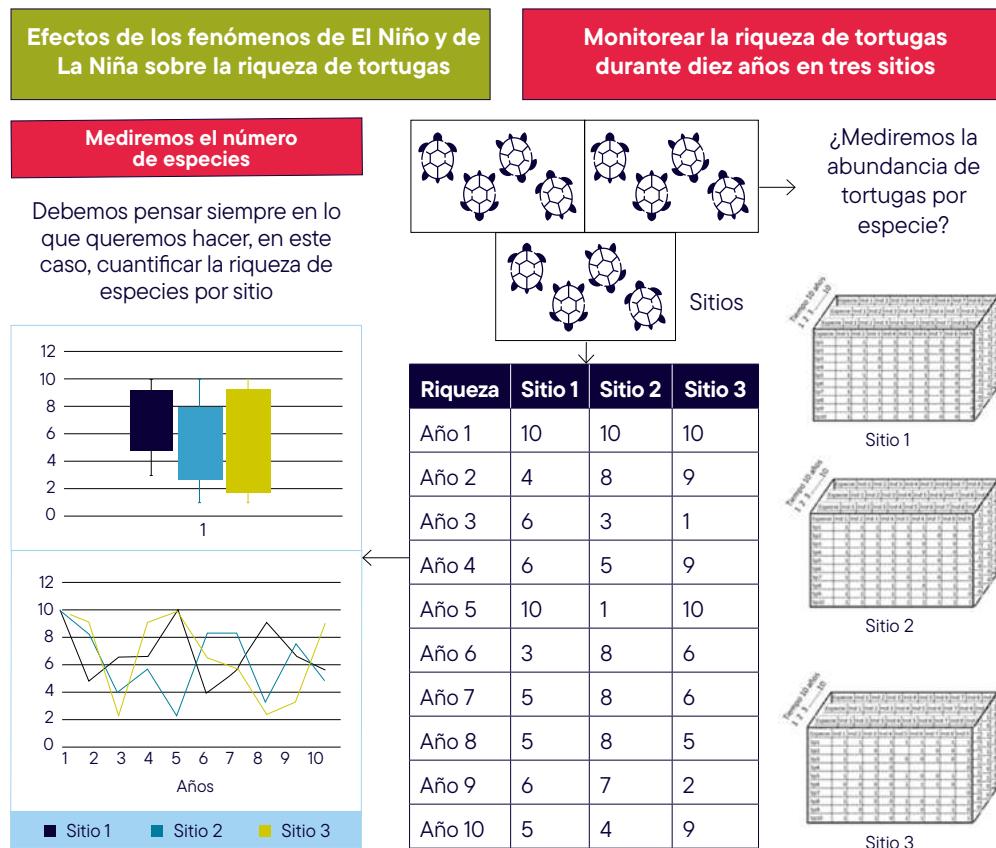
En el Capítulo 1 se definió una variable como una característica que se puede cuantificar y que cambia en el tiempo o el espacio. La variable puede integrar tratamientos cuando se mide la misma variable a lo largo del tiempo o en un gradiente. Por ejemplo, la riqueza de especies puede ser medida en tres sitios o tratamientos (p. ej., paisaje transformado, paisaje en transición, paisaje sin transformación), pero también durante diez años (Caja 6.1), todo depende del diseño de muestreo (Capítulo 4) y las preguntas a responder en el monitoreo de la variable (Capítulo 3).

## Obtención de datos y generación de variables, ingreso en los procesos de modelado e impacto en la toma de decisiones

A veces se gastan recursos y tiempo tomando datos que no fueron planeados desde el inicio. Se debe tener cuidado con estas prácticas en los flujos de datos de las estrategias de monitoreo. En el ejemplo ilustrado en la Figura 6.1 se tomaron datos de abundancias que no tienen relación con la variable que se desea monitorear. Si se decide tomar también esos datos, se debe recordar planear su uso. Es importante considerar que los análisis llevan a conocer los datos y la fase de modelamiento puede dar respuestas de la realidad observada.

En la Figura 6.1, la línea roja marca el índice de precipitación, el cual puede estar altamente correlacionado con la variable de riqueza de tortugas. Se sugiere definir si se tiene una variable independiente o explicativa, aquella que afecta el valor de otra variable, o si se tiene una variable dependiente de otra variable para incrementar o reducir su magnitud, tendencia y dispersión. En el ejemplo, las variables independientes pueden ser el tiempo (años) y el índice de precipitación, mientras que la riqueza de tortugas es la variable dependiente.

**Figura 6.1.** Selección de variables para análisis y modelamiento en el monitoreo



Los datos pueden estar organizados de diferentes maneras, pero siempre tratando de facilitar su interpretación como variables. En el caso de la variable “número de especies”, esta puede ser obtenida de avistamientos sistematizados en listados de especies, número de registros o de matrices de registro por unidad de muestreo; y las frecuencias y hábitos de especies se pueden obtener de matrices de presencia-ausencia; las variables de abundancia y distribución podrían resultar de matrices de número de individuos por eventos; la diversidad genética puede ser el resultado de análisis de matrices de ADN y distancias genéticas; los parámetros poblacionales podrían resultar de matrices de número de eventos por especies; y la estructura de hábitat se puede obtener de la biomasa por parcelas, etc.

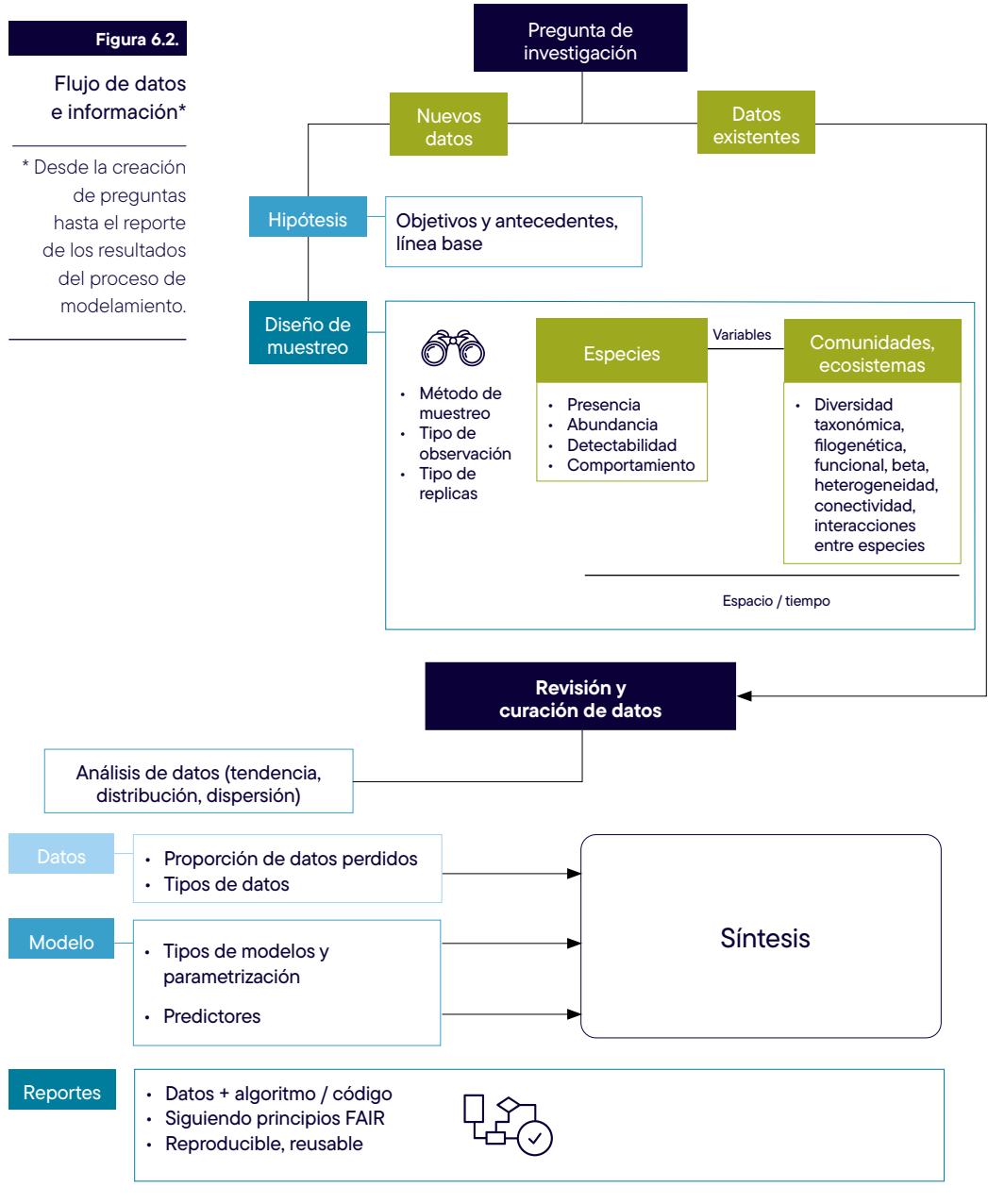
Otros ejemplos de variables y una tipificación general se han descrito dentro del contexto de variables esenciales de la biodiversidad (Pereira et al., 2013), tomando como punto de partida que a veces es necesario priorizar unas variables sobre otras, debido a la complejidad resultante de la toma de datos o su disponibilidad (Fernández et al., 2020). Esto es clave, ya que se debe asegurar que los datos representan las variables definidas en la fase de planeación del monitoreo (Capítulos 2-4) y, en consecuencia, es posible dar seguimiento a las variables del proyecto y reducir la incertidumbre (Ruiz et al., 2016) (Caja 6.2).

Los errores previos a la fase de análisis y el modelamiento podrían propagar la incertidumbre o conllevar falta de certeza en la toma de decisiones y la conservación de la biodiversidad. Por lo tanto, se debe considerar la incertidumbre como un ingrediente clave en el monitoreo. Hay diferentes fuentes de incertidumbre, las cuales pueden ser consideradas directamente cuando se toman los datos (p. ej., representatividad y replicabilidad de las muestras) (Hill et al., 2005), cuando se procesan los datos o cuando se hacen inferencias basadas en modelos (Gitzen et al., 2012; Ruiz et al., 2016). Con respecto a las inferencias basadas en el modelamiento de variables ambientales, se ha mencionado que se deben considerar fuentes de incertidumbre como (Fernández et al., 2020): insuficiente calidad y cobertura geográfica; insuficiente frecuencia de muestreo; insuficiente cobertura temporal (Proença et al., 2017).

Se han sugerido protocolos para reducir la incertidumbre; por ejemplo, es recomendable hacer limpieza de datos con expertos (Velásquez et al., 2019), descartar muestras incompletas o completar con el promedio de todos los datos (Altweig & Nichols, 2019; Kelling et al., 2019), generar una documentación completa de los procedimientos (Feng et al., 2019), y usar varias técnicas de modelaje del mismo conjunto de datos (Thuiller et al., 2019). En el caso de la obtención de información a partir de mapas, lo recomendable es pensar en la escala del fenómeno y la escala de representación de los datos, y es preferible llevar las variables de pixeles pequeños a pixeles grandes y evitar llevar variables con pixeles grandes a pixeles pequeños.

## Flujo desde los datos hasta la variable y mejores prácticas para desarrollar análisis y modelos

La fase de análisis y modelamiento va más allá de crear y “correr” modelos, pues requiere conocer el diseño de muestreo y la estructura de los datos de las variables que se desea evaluar o monitorear (Figura 6.2.).



## 6.3. Análisis de datos

En la interpretación de las variables definidas y la generación de indicadores es necesario aplicar técnicas de análisis y/o modelamiento. En primer lugar, las técnicas de análisis se pueden revisar acorde con los tipos de análisis (Figura 6.3). Los análisis descriptivos ayudan a describir las características y medidas de una variable a la vez, e incluyen las medidas de posición (centralidad), por lo que dan idea sobre dónde encontrar valores representativos de la muestra, como la media o la mediana. Una vez se identifica el centro de distribución, una manera de explorar la distribución de la variable es usando los cuartiles (subconjuntos de datos según unos porcentajes dados) u otros tipos de gráficos.

Igualmente importantes son las medidas de dispersión, que ayudan a conocer la precisión y a comparar muestras entre sí. Una de las más simples es el intervalo (máximo-mínimo), que ayuda a conocer la separación de los datos de la variable. Si se desea conocer las dispersiones y los valores de tendencia central de dos o más muestras, los intervalos intercuartílicos (*interquartile range* - IQR) ayudan a hacer este tipo de comparaciones. Si se desea mostrar las variables en figuras, los gráficos de cajas y bigotes (*box plot*) o los histogramas pueden mostrar tanto la dispersión de los datos como los valores de tendencia central.

La dispersión de los datos desde las medidas de tendencia central permite evidenciar la variabilidad en los datos. Para medir esa dispersión es necesario describir la varianza, el coeficiente de variación y la desviación estándar. Las tres métricas pueden ser útiles para dar claves sobre cuál tratamiento o variables son más o menos susceptibles a alguna condición definida en el diseño del monitoreo. A veces, los datos y tratamientos de una variable pueden tener valores de dispersión y tendencia similares. Por lo tanto, se puede requerir de medidas de forma o simetría, como el coeficiente de Curtosis, que analiza el grado de concentración de los datos alrededor del promedio.

En segundo lugar, los *análisis diagnósticos* permiten explicar por qué ocurrió algo, es decir, encontrar relaciones o causas, al comparar los valores de la variable o el indicador de la primera caracterización (línea base) con los eventos o tratamiento siguientes. Estos análisis permiten evaluar si los valores disminuyeron, permanecieron estables o aumentaron de forma estadísticamente significativa, es decir, definir la tendencia de las variables e indicadores. Otras pruebas para analizar las variables han sido revisadas por Zamora et al. (2020), quienes ejemplifican la exploración de datos usando rutinas de programas de código abierto o, por ejemplo, los análisis implementados con las herramientas de Excel (Toledo & Vicencio, 2017) o PAST (Hammer et al., 2001). Algunas de ellas permiten comparar tratamientos, otras encontrar relaciones y hacer inferencias, pero siempre dependiendo del tipo de datos (numéricos/continuos o categóricos/discretos) que conformen las variables.

Los análisis predictivos permiten generalizar un patrón de los datos o predecir una respuesta. Esto es posible analizando si dos o más variables están relacionadas o si tienen tendencias similares. Para ello se usan técnicas de estadística multivariada para explorar correlaciones. Antes se debe recordar definir la tipología de las variables (variable independiente y dependiente). Existe un primer grupo, denominado pruebas de relación-correlación, que toman como supuesto que, si dos variables están relacionadas, el incremento de una puede resultar en el incremento de otra o viceversa, sin considerar necesariamente causalidad (que una variable explique o sea la causa de la otra). Una prueba que considera una correlación lineal es el coeficiente de Pearson, que indica una relación negativa o inversa (valores iguales o cercanos a -1) y positiva o directa (valores iguales o cercanos a 1).

Una vez se conoce la relación lineal entre un par de variables, se pasa a otro grupo de pruebas que contienen las regresiones lineales para tratar de ajustar un modelo o fórmula matemática a la representación de la relación entre variables. Las regresiones dan un valor denominado coeficiente de determinación ( $R$  cuadrado), el cual indica cuánta variación de la variable de respuesta es explicada por la variable independiente (Zamora et al., 2020).

Cuando se tienen tres o más variables para comparar o hacer predicciones (inferir el comportamiento de la variable con otro conjunto de datos o el futuro), otra estrategia es usar regresiones múltiples o modelos lineales generalizados (GLM, pruebas paramétricas o dependientes de la distribución de probabilidad) que, además del valor de  $R$  cuadrado, proveen los coeficientes que ayudan a conocer cómo el crecimiento o decrecimiento de una o más variables afectan los valores de la variable dependiente. En estos modelos se pueden considerar variables continuas y categóricas entre las predictoras. Algo importante de los GLM es que aportan el valor de significancia estadística de la relación y el modelo (Wiley & Wiley, 2019). Existen otras técnicas, como las transformaciones polinomiales, para ajustar la tendencia de las variables, o las transformaciones logarítmicas, cuando el crecimiento de las variables tiene diferente tasa de incremento, por ejemplo, que el peso se duplique o triplique cada vez que un animal crezca longitudinalmente (ver ejemplos que usan Excel, en Toledo & Vicencio (2017) o PAST, en Hammer et al. (2001).

Cuando la variable dependiente es binaria (0 y 1), es posible aplicar pruebas de clasificación como la regresión logística (*logit*). En este caso la prueba da respuesta a qué tan probable es un evento considerando las variables explicativas. Por otra parte, también se tienen los modelos aditivos generalizados (GAM, pruebas semiparamétricas o independientes de la distribución), los cuales permiten conocer las relaciones entre variables y hacer predicciones, aunque suponen que la relación entre las variables puede ser o no lineal usando funciones de transformación (Wiley & Wiley, 2019; Zamora et al., 2020). Algunas implementaciones de los modelos mencionados, pero en un contexto espacial, son mencionadas por Fletcher y Fortin (2018) en el libro *Spatial ecology and conservation modeling*, que busca soluciones a problemas considerando la

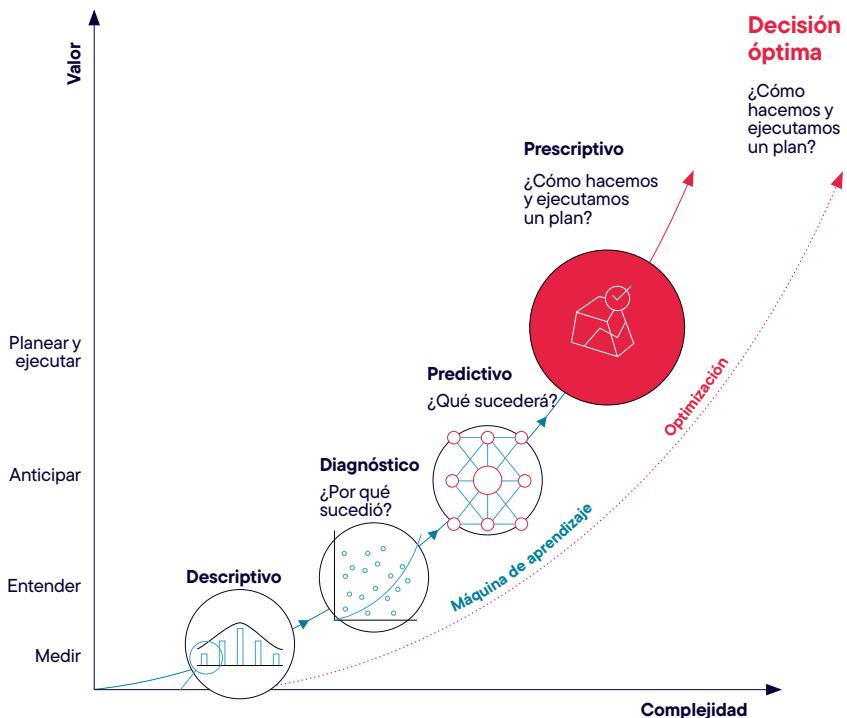


Figura 6.3.

Preguntas relacionadas con el monitoreo de biodiversidad\*

\* Pueden relacionarse con cuatro tipos de análisis de datos según su complejidad.

escala y centrándose en patrones y procesos como la autocorrelación espacial. Finalmente, los *análisis prescriptivos* permiten proponer escenarios a partir de las tendencias de los datos y generar salidas de información que soportan la toma de decisiones (Capítulo 7).

Aunque este es un recuento muy rápido por diferentes técnicas estadísticas disponibles para el análisis de datos en procesos de monitoreo y evaluación de biodiversidad, no reemplaza el tener al menos una persona en el equipo de trabajo con formación en estadística o contar con una asesoría en el tema, ojalá por el mismo equipo que asesoró el diseño de muestreo (Capítulo 4).

## 6.4. Modelamiento en monitoreo

Un modelo científico es la representación física, conceptual o matemática de un fenómeno real que es difícil de observar directamente. Estos modelos son empleados para explicar y predecir el comportamiento de objetos o sistemas reales. Generalmente, son aproximaciones a los objetos y sistemas que representan, no réplicas exactas (Rogers, 2012). El modelamiento en monitoreo se puede abordar con los análisis predictivos y prescriptivos, tomando en cuenta el conocimiento de los mecanismos que soportan al sistema (relaciones entre especies,

interacciones, etc.), o a partir de la búsqueda de patrones en los datos disponibles (distribución e interacción de las variables). De acuerdo con el conocimiento del sistema y la disponibilidad de datos, se puede optar por un tipo de modelamiento o incluso se pueden combinar. Por ejemplo, cuando existe buen conocimiento del sistema, pero pocos datos, los modelos mecanicistas —como ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) o modelos basados en individuos (MBI), regresiones, entre otros— permiten generar resultados aceptables (Figura 6.4).

En otros casos, cuando se conocen las relaciones entre los datos y las variables que los explican, es posible desarrollar modelos estadísticos (p. ej., modelos lineales generales, generalizados, modelos aditivos generalizados, modelos jerárquicos, entre ellos, los de ocurrencia o ocupación). Cuando se cuenta con muchos datos y poco conocimiento del sistema, se pueden encontrar respuestas en los modelos de máquinas de aprendizaje (*machine learning*), que buscan establecer relaciones estadísticas y correlaciones entre variables (Baker et al., 2018), aprendiendo patrones a partir de los datos (Figura 6.4). Los modelos sin supervisión tienden a agrupar datos por características comunes entre ellos, para conocer si los tratamientos se estructuran en grupos de acuerdo con los valores de las variables (Wiley & Wiley, 2019).

Los modelos supervisados no solo agrupan los datos, sino que pueden ser usados para hacer predicciones. Estos modelos suponen que existe una variable de respuesta específica. Por lo tanto, se debe seleccionar el método dependiendo del tipo de variables (Schuwirth et al., 2019; Wiley & Wiley, 2019). Las máquinas de aprendizaje, como el algoritmo de bosques aleatorios o *random forest* (RF) y los árboles de regresión potenciados (*boosted regression tree* - BRT) son usados para la generación de variables como distribuciones de especies, deforestación, coberturas terrestres, abundancias de individuos y estimaciones de riqueza de especies (p. ej., Elith et al., 2008; Elith & Leathwick, 2017; Valavi et al., 2021). Métodos como los basados en “máxima entropía” buscan describir la idoneidad climática o ambiental de las especies en mapas (Guisan et al., 2017) y patrones de comunidades y macroecológicos (Harte, 2008; 2011).

Los modelos de máquina de aprendizaje pueden ser encontrados en la literatura como modelos de inteligencia artificial (AI). Por ejemplo, modelos de AI basados en algoritmos de red neuronal convolucional profunda han sido usados en el reconocimiento de especies a partir de fotografías de cámaras trampa. Esos modelos corren en plataformas como Wildlife Insights (Ahumada et al., 2020) y son herramientas de mucha utilidad para el preprocesamiento de datos de monitoreo, ya que facilitan el procesamiento acelerado de miles de fotografías de fauna, compartir datos sobre fototrampeo, obtener información a partir de las imágenes procesadas y muchas otras aplicaciones (Mohri et al., 2018).

Una vez se han desarrollado los modelos, independientemente de las técnicas, se aplican pruebas para evaluar su poder de clasificación y complejidad. Generalmente se seleccionan modelos que tengan errores bajos y buena calidad, sencillos o menos complejos (criterio de información de Akaike; bajo valor AIC; Dziak et al., 2020) y con un poder predictivo alto (AUC, TSS, kappa cercana a 1; Allouche et al., 2006) (Caja 6.3).

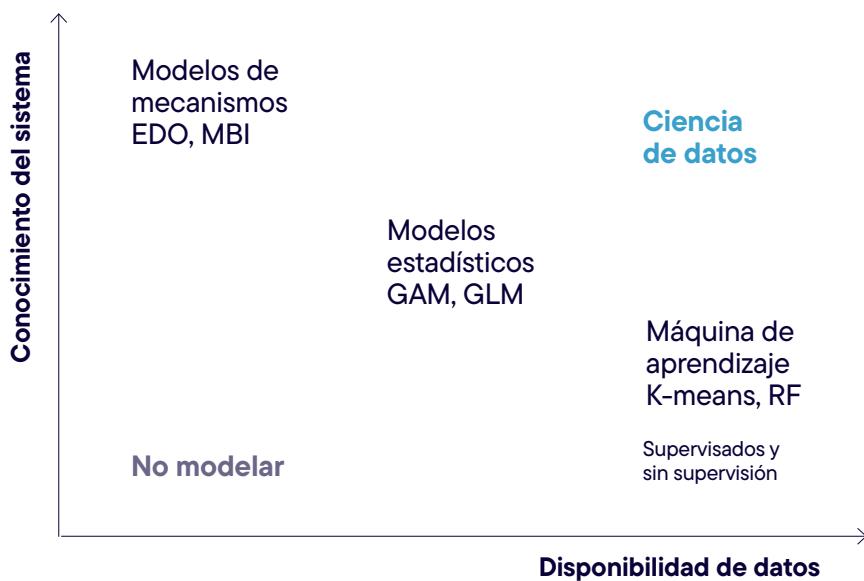


Figura 6.4.

Diferenciación de modelos según relación entre disponibilidad de datos y conocimiento del sistema\*

\* EDO: ecuaciones diferenciales ordinarias, MBI: modelos basados en individuos, GAM: modelos aditivos generales, GLM: modelos lineales generalizados, K-means/K-promedio, RF: *random forest* o bosques aleatorios.

## Criterios de selección de modelos según su tipo

Caja 6.3.

En regresiones se usan las medidas de error (error cuadrático medio). En GLM y GAM, el poder estadístico del modelo puede evaluarse con AIC, el cual tiene en cuenta un error bajo y la simplicidad en cuanto a número de términos que componen

el modelo; el poder predictivo o desempeño del modelo se evalúa con relación a qué tan bien predice los datos de prueba o, en casos de clasificación binaria, se puede usar sensibilidad, especificidad o área bajo la curva (AUC) (Tabla 6.1).

Tabla 6.1.

Pruebas de eficiencia y poder predictivo o clasificatorio de diferentes modelos

Criterio	Convención	Interpretación
Pruebas de eficiencia de los modelos		
Criterio de información Akaike	AIC	Bajo valor de AIC
AIC corregido para pocas muestras	AICc	Bajo valor AICc
Criterio de información bayesiano	BIC	Bajo valor BIC
Criterio de información bayesiano ajustado	ABIC	Bajo valor ABIC
Pruebas de poder predictivo o clasificatorio de los modelos		
Área bajo la curva	AUC	Cercano a 1 indica resultados mucho mejores que lo esperado por el azar.
Sensibilidad y especificidad	S-E	Valores altos.
<i>True skill statistic</i>	TSS	Cercano a 1 indica resultados mucho mejores que lo esperado por el azar.
Estadístico kappa	Kappa	Cercano a 1 indica resultados mucho mejores que lo esperado por el azar.

# 6.5. Aplicación de análisis y modelamiento a la generación de variables a partir de datos de monitoreo

Una variedad de métodos ha sido propuesta para optimizar las estrategias de monitoreo, tratando de facilitar la detección y seguimiento de los cambios de las variables para los múltiples niveles de la jerarquía biológica, minimizando recursos y esfuerzos (Tabla 6.2). Por ejemplo, los datos obtenidos a partir de cámaras trampa, ecoacústica y ciencia ciudadana pueden ser procesados con modelos estadísticos y máquinas de aprendizaje para hacer estimaciones sobre riqueza, densidad de individuos, distribución espacial (modelos de distribución, ocurrencia u ocupación), uso de hábitat, patrones de actividad y comportamiento (p. ej., Altwegg & Nichols, 2019; Banerjee et al., 2021; Díaz & Payán, 2012; MacKenzie et al., 2005).

En la tabla 6.2 se presenta un resumen de niveles de la organización de la naturaleza, potenciales variables a calcular, técnicas de modelamiento utilizadas y ejemplos que permiten conocer las fuentes de incertidumbre y ejemplifican alternativas que permiten obtener resultados aceptables para el monitoreo de la biodiversidad. Por supuesto, muchas otras técnicas de análisis y aplicaciones se encuentran disponibles en la literatura, por lo cual se mencionan algunos métodos relacionados con las variables esenciales de la biodiversidad (Jetz et al., 2019; Pereira et al., 2013; Proença et al., 2017; Turak et al., 2017).

El proceso de análisis y modelamiento en el monitoreo de biodiversidad requiere considerar muchas muestras y especies o espacializar los resultados a partir de la transferencia o interpolación de los modelos. Por lo tanto, las representaciones finales de las variables e indicadores asociados a estrategias de monitoreo pueden ser presentados en figuras y mapas, con el propósito de facilitar la lectura e interpretación de la información por parte de los interesados. Para ello, el Instituto Humboldt cuenta con dos herramientas útiles para desplegar variables e indicadores: BioModelos y BioTablero<sup>1</sup>.

Tradicionalmente, las técnicas de análisis y modelamiento estaban restringidas a la generación de figuras de tendencia y comparación, porque la capacidad de procesamiento limitó su representación en mapas (Johnson et al., 2013). Actualmente, el avance de los sistemas informáticos ha llevado a proponer nuevas formas

<sup>1</sup> BioModelos (<http://biomodelos.humboldt.org.co/>) y BioTablero (<http://biotablero.humboldt.org.co/>).

de visualizar la información obtenida en los programas de monitoreo. Sin embargo, el obtener resultados interpretables a partir de los datos obtenidos del monitoreo depende del plan de monitoreo, los tipos de datos que caracterizan a las variables, las tendencias de las variables, la correlación entre variables, la selección de las pruebas estadísticas de acuerdo con la pregunta de investigación, la selección de la técnica de modelamiento y los fundamentos y supuestos de los análisis y modelos (p. ej., MacKenzie et al., 2005).

Nivel ecológico	Variables	Técnicas de análisis y modelamiento	Característica de incertidumbre	Fuente de incertidumbre	Ejemplos: reducción incertidumbre	Possible solución
Gen	Diversidad alfa o beta, diversidad filogenética.	Promedios de diversidad, desviación estándar, coeficiente de variación, análisis de agrupamiento no supervisado, análisis de componentes principales, presencia de especies, diferenciación evolutiva, modelos de nicho ecológico, reconstrucción filogenética.	CD	Filogenias incompletas.	Allen et al. (2019); Banerjee et al. (2021); Montoya et al. (2021); Weedop et al. (2019).	Incluir reporte de incertidumbre y aplicar correctamente técnicas de muestreo.
Población	Abundancia y densidad, probabilidad de detección, modelos de distribución.	Comparación de promedios, cajas y bigotes, promedios de diversidad, desviación estándar, coeficiente de variación, GAM, GLM, modelos basados en muestreos por distancias, modelos de ocupación.	CD, FM, CT	Detección imperfecta, pocos datos, cobertura geográfica.	Buckland et al. (2004); Espinosa et al. (2010); Frishkoff et al. (2019); González et al. (2017); Koshkina et al. (2017).	Considerar variables relevantes, integrar datos de múltiples fuentes, integrar la escala como componente del modelo.
Especies	Distribución geográfica.	GAM, GLM, máquina de aprendizaje e IA, modelos de nicho ecológico y distribución potencial.	CD, FM, CT	Datos sin curar, limitada cobertura geográfica, tipo de algoritmo, sobrepredicción.	Feng et al. (2019); Thuiller et al. (2019); Velásquez et al. (2019).	Modelos de ensamble, curación de datos y mapas con expertos, uso de múltiples algoritmos, parametrizar los modelos.
Comunidad	Diversidad alfa, beta, zeta (taxonómica, funcional y filogenética), interacciones.	Promedios de diversidad, desviación estándar, coeficiente de variación, modelos no paramétricos de riqueza de especies, ensambles de modelos de distribución de especies, modelos de especies-área para estimar riqueza de especies, modelos de interacción de especies.	CD, FM, CT	Datos limitados, algoritmos de modelamiento, comparaciones de comunidades.	Bueno et al. (2020); Connor et al. (1979); Chen & Shen (2017); Dormann et al. (2018); Schmitt et al. (2017); Montoya et al. (2021); Riva & Mammola (2021).	Aplicar varios algoritmos, corrección del tamaño de muestra, identificación de sitios con mayor completitud de muestreo.

Tabla 6.1.

Niveles de organización de la naturaleza, variables que los representan, técnicas de modelamiento y ejemplos para controlar la incertidumbre de tres fuentes: CD, FM, CT\*

\* CD: suficiente calidad y cobertura geográfica, FM: suficiente frecuencia de muestreo y CT: suficiente cobertura temporal.



Nivel ecológico	Variables	Técnicas de análisis y modelamiento	Característica de incertidumbre	Fuente de incertidumbre	Ejemplos: reducción incertidumbre	Posible solución
Paisaje	Conectividad, diversidad de coberturas.	Promedios de diversidad, desviación estándar, coeficiente de variación, número de parche-área y perímetro, textura, modelos de conectividad del paisaje.	CD, FM, CT	Datos de cobertura, escala de las coberturas, datos de dispersión, mapas de distribución de especies, algoritmo, superficie de costo.	Turner et al. (2015); Simpkins & Perry (2017); Simpkins et al. (2017; 2018).	Usar coberturas estandarizadas, considerar escala adecuada de análisis, análisis multiescalas, generalización de distancias de dispersión a partir de grupos de especies conocidas, uso de algoritmos según el objetivo del análisis.
Ecosistema	Área de cobertura de la tierra, carbono en bosque tropical, huella espacial humana, integridad de ecosistemas.	Promedios de diversidad, desviación estándar, coeficiente de variación, <i>random forest</i> , redes neuronales y AI, algoritmos de clasificación, índices de vegetación.	CD, resolución espacial y radiométrica.	Insuficiente resolución espacial; falta de datos de campo, aplicación de los algoritmos.	Ayram et. al. (2020); Brown et al. (2022); Grainger (2010); Grainger & Kim (2020); Grantham et al. (2020); Keys et al. (2021).	Uso de datos de campo, selección de los sensores (activos, pasivos, ópticos o radar), uso de nuevos algoritmos como inteligencia artificial.
Patrón macro ecológico	Diversidad alfa, beta, gamma, interacciones, endemismos, servicios ecosistémicos, unidades biogeográficas, dominios climáticos.	Promedios de diversidad, desviación estándar, coeficiente de variación, <i>random forest</i> , redes neuronales y AI, modelos SAR (relación especies-área), K-means.	CD, FM, CT	Insuficiente resolución espacial, falta de datos de campo, aplicación de los algoritmos.	Ferrier et al. (2007); Rangel et al. (2010); Leitao et al. (2015); Connolly et al. (2017); Matthews et al. (2019).	Uso de datos de campo para validar los modelos, selección de los sensores (activos, pasivos, ópticos o radar), uso de nuevos algoritmos como IA, integración de datos de campo con datos de sensores remotos.

## 6.6. Conclusiones

La calidad de la información producida durante el análisis y modelamiento depende directamente de tener bases de datos bien estructuradas que faciliten y agilicen su procesamiento. Tanto la definición de los objetos y variables de monitoreo (Capítulo 3) como el diseño de muestreo (Capítulo 4) deben contemplar qué ocurrirá con los datos durante la fase de análisis y modelamiento. Se debe asegurar que la recolección de datos (Capítulo 5) priorice las variables indicadoras que responden a las preguntas y objetivos del monitoreo, y que se recopilen covariables de interés, pero que no se recopilen datos innecesarios que signifiquen sobrecostos en el proyecto.

La selección de las técnicas de análisis o modelamiento que se van a implementar requiere revisar muy bien los tipos de datos y variables disponibles, así como los alcances y supuestos de cada una. En la fase de análisis y modelamiento la incertidumbre debe ser contemplada desde los datos de entrada, pasando por los algoritmos utilizados y las salidas generadas. Así se garantiza que los indicadores y escenarios (Capítulo 7), y los productos de la síntesis de información del proyecto (Capítulo 8) permiten comunicar el estado y tendencias de las variables y objetos de monitoreo, de manera acorde con los alcances y limitaciones del proceso.

Las técnicas de análisis y modelamiento proveen insumos que permiten analizar tendencias y proponer escenarios. Por lo tanto, el modelamiento de variables e indicadores facilitará su uso en las síntesis de información para tomadores de decisiones. En algunos casos, las técnicas de modelamiento también ayudarán a procesar la información tomada a partir de sensores remotos.

# Referencias

- Ahumada, J. A., Fegraus, E., Birch, T., Flores, N., Kays, R., O'Brien, T. G., ..., & Dancer, A. (2020). Wildlife insights: A platform to maximize the potential of camera trap and other passive sensor wildlife data for the planet. *Environmental Conservation*, 47(1), 1-6.
- Allen, J. M., Germain-Aubrey, C. C., Barve, N., Neubig, K. M., Laffan, S. W., Mishler, B. D., ..., & Soltis, P. S. (2019). Spatial phylogenetics of Florida vascular plants: The effects of calibration and uncertainty on diversity estimates. *IScience*, 11, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2018.12.002>
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232.
- Altweig, R., & Nichols, J. D. (2019). Occupancy models for citizen-science data. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(1), 8-21. DOI: 10.1111/2041-210X.13090
- Ayram, C. A. C., Etter, A., Díaz-Timoté, J., Buriticá, S. R., Ramírez, W., & Corzo, G. (2020). Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Ecological Indicators*, 117, 106630.
- Banerjee, P., Dey, G., Antognazza, C. M., Sharma, R. K., Maity, J. P., Chan, M. W., ..., & Chen, C. Y. (2021). Reinforcement of environmental DNA based methods (sensu stricto) in biodiversity monitoring and conservation: A review. *Biology*, 10(12), 1223. <https://doi.org/10.3390/biology10121223>
- Baker, R. E., Peña, J.-M., Jayamohan, J., & Jérusalem, A. (2018). Mechanistic models versus machine learning, a fight worth fighting for the biological community? *Biology Letters*, 14(5). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2017.0660>
- Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., ..., & Tait, A. M. (2022). Dynamic world, near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(1), 1-17.
- Brummitt, N., Regan, E. C., Weatherdon, L. V., Martin, C. S., Geijzendorffer, I. R., Rocchini, D., ..., & Schmeller, D. S. (2017). Taking stock of nature: Essential biodiversity variables explained. *Biological Conservation*, 213, 252-255. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.006>
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Thomas L. (2004). *Advanced distance sampling. Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press.
- Bueno, A. S., Masseli, G. S., Kaefer, I. L., & Peres, C. A. (2020). Sampling design may obscure species-area relationships in landscape-scale field studies. *Ecography*, 43(1), 107-118.
- Connolly, S. R., Keith, S. A., Colwell, R. K., & Rahbek, C. (2017). Process, mechanism, and modeling in macroecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 32(11), 835-844.
- Connor, E. F., & McCoy, E. D. (1979). The statistics and biology of the species-area relationship. *The American Naturalist*, 113(6), 791-833.
- Chen, Y., & Shen, T.-J. (2017). Rarefaction and extrapolation of species richness using an area-based Fisher's logseries. *Ecology and Evolution*, 7(23), 10066-10078. <https://doi.org/10.1002/ece3.3509>
- Dziak, J. J., Coffman, D. L., Lanza, S. T., Li, R., & Jermiin, L. S. (2020). Sensitivity and specificity of information criteria. *Briefings in bioinformatics*, 21(2), 553-565.

- Díaz-Pulido, A., & Payán Garrido, E. (2012). *Manual de fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. Instituto Humboldt y Panthera Colombia. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31415/240.pdf?sequence=1>
- Dormann, C. F., Bobrowski, M., Dehling, D. M., Harris, D. J., Hartig, F., Lischke, H., ..., & Kraan, C. (2018). Biotic interactions in species distribution modelling: 10 questions to guide interpretation and avoid false conclusions. *Global Ecology and Biogeography*, 27(9), 1004-1016. <https://doi.org/10.1111/geb.12759>
- Elith, J., & Leathwick, J. (2017). *Boosted regression trees for ecological modeling. R Documentation*. <chrome-extension://efaidnbmnnibpcapcglclefindmkaj/https://cran.r-hub.io/web/packages/dismo/vignettes/brt.pdf>
- Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4), 802-813.
- Espinosa, S., Delgado Hernández, M. F., Orobio Riofrío, B., Mejía Ladino, L. M., & Gil Agudelo, D. L. (2010). Estado de la población y valoración de algunas estrategias de conservación del recurso piangua *Anadara tuberculosa* (sowerby) en sectores de bazán y nerete, costa Pacífica nariñense de Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 39(1), 161-176.
- Feng, X., Park, D. S., Walker, C., Peterson, A. T., Merow, C., & Papeş, M. (2019). A checklist for maximizing reproducibility of ecological niche models. *Nature Ecology & Evolution*, 3(10), 1382-1395. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0972-5>
- Fernández, N., Ferrier, S., Navarro, L. M., & Pereira, H. M. (2020). Essential biodiversity variables: integrating in-situ observations and remote sensing through modeling. En J. Caverdar-Bares, J. A. Gamon, & P. A. Townsend (Eds.), *Remote sensing of plant biodiversity* (pp. 485-501). Springer.
- Ferrier, S., Manion, G., Elith, J., & Richardson, K. (2007). Using generalized dissimilarity modelling to analyse and predict patterns of beta diversity in regional biodiversity assessment. *Diversity and distributions*, 13(3), 252-264.
- Fletcher, R., & Fortin, M. (2018). *Spatial ecology and conservation modeling*. Springer.
- Frishkoff, L. O., Mahler, D. L., & Fortin, M. (2019). Integrating over uncertainty in spatial scale of response within multispecies occupancy models yields more accurate assessments of community composition. *Ecography*, 42(12), 2132-2143. <https://doi.org/10.1111/ecog.04365>
- Gitzen, R. A., Millspaugh, J. J., Cooper, A. B., & Licht, D. S. (2012). *Design and analysis of long-term ecological monitoring studies*. Cambridge University Press.
- Grainger, A. (2010). Uncertainty in the construction of global knowledge of tropical forests. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 34(6), 811-844. <https://doi.org/10.1177/0309133310387326>
- Grainger, A., & Kim, J. (2020). Reducing global environmental uncertainties in reports of tropical forest carbon fluxes to REDD+ and the Paris agreement global stocktake. *Remote Sensing*, 12(15), 2369. <https://doi.org/10.3390/rs12152369>
- González-García, F., Martínez-Morales, M. A., Abundis Santamaría, A., Rivas-Romero, J. A., Quiñónez-Guzmán, J. M., Rodríguez Acosta, J., ..., & Guichard Romero, C. A. (2017). Protocolo estandarizado para el seguimiento poblacional del pavón, *Oreophasis derbianus*: propuesta de métodos de campo y analíticos. *Huitzil*, 18(1), 185-201.

- Grantham, H. S., Duncan, A., Evans, T. D., Jones, K. R., Beyer, H. L., Schuster, R., ..., & Watson J. E. M. (2020). Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity. *Nature Communications*, 11, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19493-3>
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models. With applications in R*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/978139028271>
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9. chrome-extension://efaidnbm-nnnibpcajpcglclefindmkaj/https://palaeo-electronica.org/2001\_1/past/past.pdf
- Harte, J., Zillio, T., Conlisk, E., & Smith, A. B. (2008). Maximum entropy and the state-variable approach to macroecology. *Ecology*, 89(10), 2700-2711.
- Harte, J. (2011). *Maximum entropy and ecology: a theory of abundance, distribution, and energetics*. OUP Oxford.
- Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M., & Shaw, P. (2005). *Handbook of biodiversity methods: survey, evaluation and monitoring*. Cambridge University Press.
- Jin, J., & Yang, J. (2020). BDcleaner: A workflow for cleaning taxonomic and geographic errors in occurrence data archived in biodiversity databases. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00852. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00852>
- Jetz, W., McGeoch, M. A., Guralnick, R., Ferrier, S., Beck, J., Costello, M. J., ..., & Turak, E. (2019). Essential biodiversity variables for mapping and monitoring species populations. *Nature ecology & evolution*, 3(4), 539-551.
- Johnson, D. S., Conn, P. B., Hooten, M. B., Ray, J. C., & Pond, B. A. (2013). Spatial occupancy models for large data sets. *Ecology*, 94(4), 801-808.
- Keys, P. W., Barnes, E. A., & Carter, N. H. (2021). A machine-learning approach to human footprint index estimation with applications to sustainable development. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044061.
- Kelling, S., Johnston, A., Bonn, A., Fink, D., Ruiz-Gutierrez, V., Bonney, R., ..., & Guralnick, R. (2019). Using semistructured surveys to improve citizen science data for monitoring biodiversity. *BioScience*, 69(3), 170-179.
- Koshkina, V., Wang, Y., Gordon, A., Dorazio, R. M., White, M., & Stone, L. (2017). Integrated species distribution models: Combining presence-background data and site-occupancy data with imperfect detection. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(4), 420-430. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12738>
- Leitao, P. J., Schwieder, M., Suess, S., Catry, I., Milton, E. J., Moreira, F., ..., & Hostert, P. (2015). Mapping beta diversity from space: Sparse Generalised Dissimilarity Modelling (SGDM) for analysing high-dimensional data. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(7), 764-771.
- MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L. L., & Hines, J. E. (2005). *Occupancy estimation and modeling: Inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Academic Press.
- Matthews, T. J., Triantis, K. A., Whittaker, R. J., & Guilhaumon, F. (2019). SARS: an R package for fitting, evaluating and comparing species-area relationship models. *Ecography*, 42(8), 1446-1455.
- Mohri, M., Rostamizadeh, A., & Talwalkar, A. (2018). *Foundations of machine learning*. MIT press.
- Montoya, P., Franco-Sierra, N. D., González, M. C., Baena-Bejarano, N., Pulido Santacruz, P., Salazar Villegas, A., ..., & González Herrera, M. (2021). *Protocolos de genómica para monitoreo ambiental asociado a acciones de respuesta por impacto o contingencia ambiental formalizados y listos para ser transferidos a usuarios interesados*. Instituto Humboldt. <https://acortar.link/Sv850W>

- Ortega-Álvarez, R., Sánchez-González, L. A., & García, H. B. (Eds.) (2015). *Plumas de multitudes: integración comunitaria en el estudio y monitoreo de aves en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Palacio, F. X., Apodaca, M. J., & Crisci, J. V. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos: Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R*. Vázquez Mazzini.
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J., ..., & Wegmann, M. (2013). Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117), 277-278.
- Proença, V., Martin, L. J., Pereira, H. M., Fernández, M., McRae, L., Belnap, J., ..., & Van Swaay, C. A. M. (2017). Global biodiversity monitoring: From data sources to Essential Biodiversity Variables. *Biological Conservation*, 213, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.014>
- Rangel, T. F., Diniz-Filho, J. A. F., & Bini, L. M. (2010). SAM: A comprehensive application for spatial analysis in macroecology. *Ecography*, 33(1), 46-50.
- Riva, F., & Mammola, S. (2021). Rarity facets of biodiversity: Integrating Zeta diversity and Dark diversity to understand the nature of commonness and rarity. *Ecology and Evolution*, 11(20), 13912-13919.
- Rogers, K. (2012). "Scientific modeling". Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/scientific-modeling>. Accessed 13 July 2022.
- Ruiz-Gutiérrez, V., Hooten, M. B., & Campbell Grant, E. H. (2016). Uncertainty in biological monitoring: A framework for data collection and analysis to account for multiple sources of sampling bias. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(8), 900-909. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12542>
- Schmitt, S., Pouteau, R., Justeau, D., Boissieu, F., & Birnbaum, P. (2017). SSDM: An R package to predict distribution of species richness and composition based on stacked species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(12), 1795-1803. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12841>
- Schuwirth, N., Borgwardt, F., Domisch, S., Friedrichs, M., Kattwinkel, M., Kneis, D., ..., & Vermeiren, P. (2019). How to make ecological models useful for environmental management. *Ecological Modelling*, 411. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108784>
- Simpkins, C. E., & Perry, G. L. W. (2017). Understanding the impacts of temporal variability on estimates of landscape connectivity. *Ecological Indicators*, 83, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.008>
- Simpkins, C. E., Dennis, T. E., Etherington, T. R., & Perry, G. L. W. (2017). Effects of uncertain cost-surface specification on landscape connectivity measures. *Ecological Informatics*, 38, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.12.005>
- Simpkins, C. E., Dennis, T. E., Etherington, T. R., & Perry, G. L. W. (2018). Assessing the performance of common landscape connectivity metrics using a virtual ecologist approach. *Ecological Modelling*, 367, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.11.001>
- Thuiller, W., Guéguen, M., Renaud, J., Karger, D. N., & Zimmermann, N. E. (2019). Uncertainty in ensembles of global biodiversity scenarios. *Nature Communications*, 10(1), 1-9.
- Turak, E., Brazill-Boast, J., Cooney, T., Drielsma, M., DelaCruz, J., Dunkerley, G., ..., & Williams, K. (2017). Using the essential biodiversity variables framework to measure biodiversity change at national scale. *Biological Conservation*, 213, 264-271.
- Toledo, Á., & Vicencio, I. (2017). El uso de la herramienta "análisis de datos" de Excel como complemento para el aprendizaje de la estadística en el aula. *Premisa*, 75, 6-17.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., O'Neill, R. V., & O'Neill, R. V. (2015). *Landscape ecology in theory and practice*. Springer.

- Valavi, R., Elith, J., Lahoz-Monfort, J. J., & Guillera-Arroita, G. (2021). Modelling species presence-only data with random forests. *Ecography*, 44(12), 1731-1742.
- Velásquez-Tibatá, J., Olaya-Rodríguez, M. H., López-Lozano, D., Gutiérrez, C., González, I., & Londoño-Murcia, M. C. (2019). BioModelos: A collaborative online system to map species distributions. *Plos One*, 14(3), e0214522. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214522>
- Weedop, K. B., Mooers, A. Ø., Tucker, C. M., & Pearse, W. D. (2019). The effect of phylogenetic uncertainty and imputation on EDGE scores. *Animal Conservation*, 22, 527-536. <https://doi.org/10.1111/acv.12495>
- Wiley, M., & Wiley, J. F. (2019). *Advanced R statistical programming and data Models*. Apress.
- Zamora Saiz, A., Quesada González, C., Hurtado Gil, L., & Mondéjar Ruiz, D. (2020). *An introduction to data analysis in R. Use R!* Springer.





Fotografía: Felipe Villegas; Instituto Humboldt.

# Indicadores y escenarios para el monitoreo de la biodiversidad

---

Jaime Burbano-Girón<sup>1,2</sup>, María Alejandra Molina-Berbeo<sup>1</sup>, María I. Arce-Plata<sup>1,3</sup>, Luis F. Urbina-González<sup>1</sup>, Jhonatan Julián Díaz-Timoté<sup>1,4</sup>, Camilo A. Correa-Ayram<sup>1,5</sup>, M. Camila Díaz-Corzo<sup>1</sup>, Angélica M. Batista-Morales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Humboldt; <sup>2</sup>The Nature Conservancy, Colombia; <sup>3</sup>Université de Montréal, Canadá; <sup>4</sup>Universidad del Rosario; <sup>5</sup>Pontificia Universidad Javeriana.

# 7.1. Introducción

La definición y construcción de indicadores y escenarios son esenciales en el ciclo de monitoreo, ya que a través de estos se pueden definir y evaluar los objetivos y metas propuestas (Capítulo 3). En este capítulo, se profundiza en la definición e integración de los conceptos de indicadores y escenarios con otros conceptos clave del ciclo de monitoreo, como los objetivos, metas, variables y datos, y se explican los marcos más relevantes para su diseño y selección.

El diseño y selección de indicadores y escenarios sustentado en marcos conceptuales o de referencia favorece una selección coherente y orientada a los objetivos y metas planteados en el monitoreo, con el fin de abarcar diferentes niveles de organización de la biodiversidad definidos en la etapa de planeación (Capítulos 2-4). En este sentido, se hace una referencia especial a las recomendaciones a tener en cuenta para la selección participativa de indicadores y escenarios. Del proceso integrado de diseño y selección de indicadores y escenarios depende que estos den soporte a la evaluación de las metas planteadas y faciliten la interpretación y divulgación de los resultados del proceso de monitoreo (Capítulo 8).

Particularmente, se detalla el desarrollo de indicadores a través de los datos. Es ideal que haya un proceso de repeticiones sistemáticas de recolección de datos (Capítulo 5) o de análisis y modelamiento (Capítulo 6) para el cálculo de indicadores que midan el progreso hacia los objetivos y metas de monitoreo en el tiempo, pero que también evalúen y den orientaciones sobre las acciones que se están llevando en el territorio, de tal manera que se puedan ajustar en caso de ser necesario.

Así como la identificación de los indicadores permite medir el progreso hacia una meta a través de la evaluación de diferentes variables, los escenarios presentan una descripción de posibles futuros de esas variables. Este capítulo desarrolla los conceptos y características de los escenarios en el contexto del monitoreo, así como los marcos que han propuesto diferentes iniciativas mundiales para resolver problemáticas ambientales y tomar acción frente a ellas. La selección de escenarios es vital dentro de procesos de monitoreo, ya que está guiada en mayor medida por las necesidades de investigadores, tomadores de decisiones, comunidades y otros actores, y por sus relaciones con la biodiversidad.

Conocer qué es, cómo se selecciona y cómo se desarrolla tanto un indicador como un escenario permite transformar un objetivo o meta de monitoreo en cifras y números que pueden ser interpretados y divulgados a diferentes públicos para así soportar decisiones a diferentes escalas (Capítulos 8-10).

## 7.2. Indicadores

La palabra indicador se deriva del latín *indicare*, que significa anunciar o señalar (WHO, 2002), utilizando como referencia cifras que simplifican las dimensiones de la realidad, transmiten información más allá de sí mismas y están basadas en datos verificables (BIP, 2010; Brooks & Bubb, 2014). Los indicadores permiten cuantificar la magnitud del cambio de una o más características de los sistemas, producto de acciones que lo modifican directa o indirectamente (Hunsaker & Carpenter, 1990). Algunos otros conceptos, como dato, variable y cifra, pueden relacionarse con el concepto de indicador; sin embargo, es importante diferenciarlos, ya que guardan una relación jerárquica entre ellos (Figura 7.1; Caja 7.1).

Los datos son la representación simbólica cuantitativa o cualitativa que se le da a una variable, que, a su vez, es un atributo, característica o propiedad que toma diferentes valores (datos) y es susceptible de variación (Ackoff, 1989). Los indicadores son construidos a partir de variables y calculados con base en los datos. El resultado de un indicador se convierte en una cifra que provee información sobre el avance de los procesos de monitoreo y, en general, enriquece el estado de conocimiento de las variables, por lo que facilita la toma de decisiones (Noss, 1990). Dependiendo de la complejidad de la idea que abordan, los indicadores pueden estar compuestos por una o diferentes variables (índices) o necesitar un grupo o batería de indicadores, los cuales se orientan hacia un propósito y pueden ser interpretados de acuerdo con la finalidad del análisis (BIP, 2010; Han et al., 2014).



## ¿Qué no es un indicador?

Brooks & Bubb (2014) utilizan el siguiente ejercicio para diferenciar un indicador de otras métricas. Del siguiente enunciado escoja cuál es el indicador: “el objetivo nacional deberá ser el incrementar la cobertura de áreas protegidas del 5 % del país al 15 % para el año 2020”. Cuatro posibles respuestas:

1. Un 15% de cobertura de áreas terrestres protegidas.
2. Incremento en la cobertura de áreas protegidas.

3. Cobertura de áreas protegidas.
4. Porcentaje de áreas protegidas.

La respuesta 1 no es un indicador: al incluir el valor 15 %, hace referencia a la meta (Capítulo 3). La respuesta 2 se puede confundir con la meta, al pretender que el resultado es un incremento. La respuesta 3 podría ser considerada un indicador aceptable, pero la respuesta 4 es un mejor indicador, ya que incluye la unidad de medida de la meta.

Dentro de la evaluación del progreso de los procesos de monitoreo, los indicadores son de utilidad, ya que permiten obtener cifras que sintetizan sus distintos atributos, su estado y tendencias. Así, los indicadores permiten responder de manera general a preguntas como qué pasó, por qué pasó y cómo marcha el avance de las metas (Hunsaker & Carpenter, 1990). Además, permiten establecer comparaciones, evidenciar patrones, definir prioridades, entender impactos, evaluar el cumplimiento de objetivos y la efectividad de medidas, generar alertas, plantear acciones futuras o evaluar acciones pasadas, como medios para tomar decisiones en el territorio. Los reportes de cifras que cumplen estas condiciones constituyen indicadores de monitoreo de la biodiversidad (Brooks & Bubb, 2014; Han et al., 2014; OCDE, 2005).

### 7.2.1. Marcos conceptuales para el diseño de indicadores

De manera general, los marcos conceptuales o de referencia ayudan a visualizar y comprender los problemas relacionados con situaciones reales o previstas y a proponer maneras de solucionarlos. Los marcos facilitan la organización de datos e información, por lo que, en el caso de los procesos de construcción de indicadores, orientan su selección para responder las preguntas u objetivos que se busca alcanzar con el monitoreo. La inclusión de un marco conceptual es recomendable dentro del proceso de construcción de indicadores para garantizar que estos respondan a los objetivos y realmente den cuenta del progreso en las metas plantea-

das (Capítulo 3). A menudo, se necesitan varios modelos analíticos con diferentes propósitos y públicos para desarrollar y organizar las baterías o conjuntos de indicadores de un de una estrategia de monitoreo (OCDE, 1999; 2003). Dos de los marcos conceptuales más utilizados para el monitoreo y evaluación de biodiversidad son el de presión, estado, respuesta, beneficios (PERB) (Sparks et al., 2011) y el desarrollado por la Plataforma Intergubernamental Científico-Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services - IPBES) Díaz et al., 2015.

MARCO PERB. Es uno de los marcos más usados para el diseño de indicadores en programas de monitoreo de biodiversidad —con muchas variaciones posibles, según el contexto—, ya que fue diseñado como un modelo de causalidad donde se plantea que las actividades humanas, al inducir presiones en el ambiente, generan cambios en el estado o calidad de los recursos naturales que la sociedad puede mitigar con acciones de respuesta traducidas en políticas, convenios o metas, entre otros, y estas acciones, a su vez, pueden generar beneficios para la sociedad (Sparks et al., 2011; Figura 7.2; detalles en el Anexo A-1).

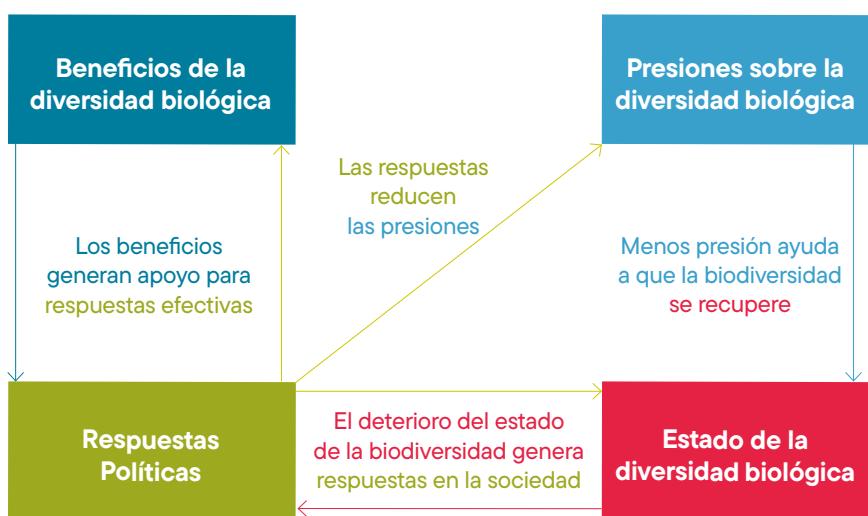


Figura 7.2.

Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta-Beneficio

Fuente: adaptado de Sparks et al. (2011).

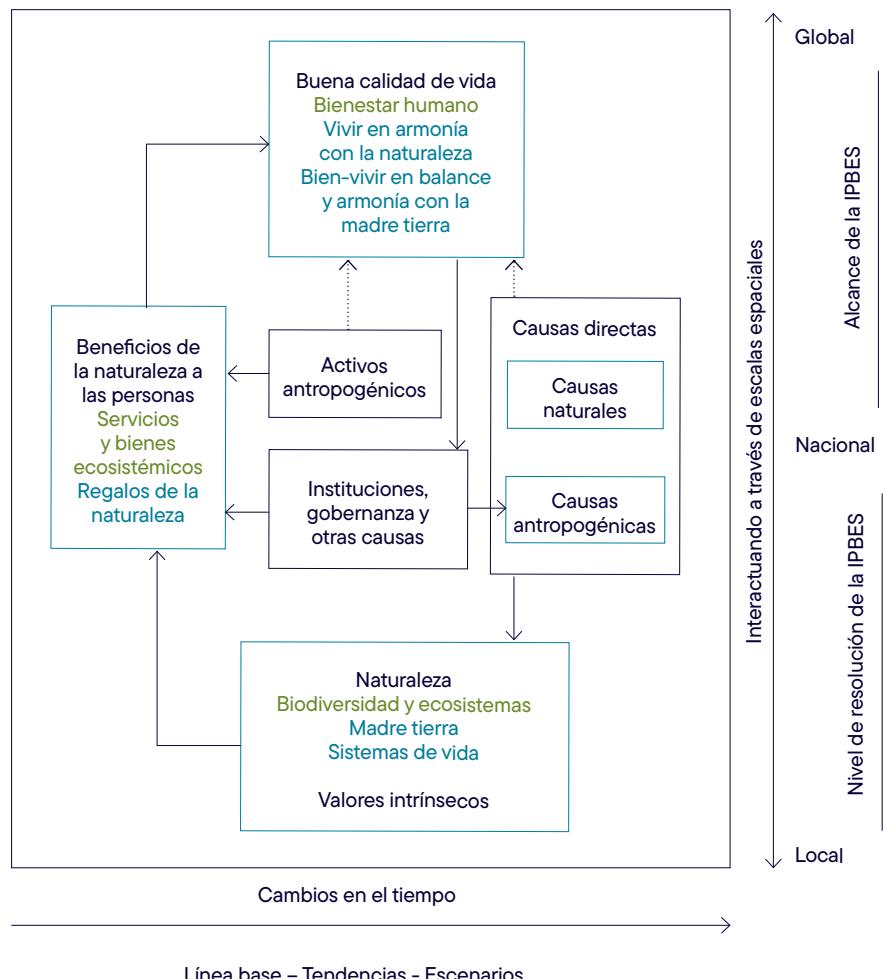
MARCO IPBES. Tiene como objetivo integrar diferentes sistemas de conocimiento en la toma de decisiones y en el desarrollo de las políticas de los estados que hacen parte de la IPBES, con el fin de hacer un uso sostenible de la biodiversidad y garantizar el bienestar futuro de los humanos. El marco está conformado por seis componentes interrelacionados: naturaleza, activos antropogénicos; contribuciones de la naturaleza a las personas; impulsores directos de cambio; instituciones, sistemas de gobernanza y otros impulsores indirectos de cambio; y buena calidad de vida (Díaz et al., 2015; Ruckelshaus et al., 2020; Figura 7.3; detalles en el Anexo A-2).

Figura 7.3.

Marco propuesto por la IPBES\*

\* La naturaleza, los beneficios de la naturaleza a las personas y la buena calidad de vida corresponden a las diferentes visiones del mundo (en negro); conceptos como bienestar humano, servicios ecosistémicos y biodiversidad y ecosistemas pertenecen a conceptos científicos (en verde); el vivir en armonía con la naturaleza, el buen vivir, los regalos de la naturaleza, la madre tierra, entre otros, constituyen otro tipo de sistemas de conocimiento (en azul).

Fuente: adaptado de Díaz et al. (2015).



Ya que diferentes marcos ponen énfasis en distintas formas de las relaciones en los sistemas socioecológicos, la escogencia del modelo conceptual a usarse en una estrategia de monitoreo y evaluación de biodiversidad dependerá del contexto en el que se desarrolla (Capítulo 2), así como de sus objetivos o preguntas orientadoras (Capítulo 3). Sin embargo, una mirada más profunda permite ver que la mayoría de marcos se pueden armonizar de forma que un mismo indicador puede cumplir funciones parecidas en diferentes proyectos (Anexo A-3).

## 7.2.2. Selección de indicadores

Una vez seleccionado el marco de referencia, se construyen los modelos conceptuales y se utilizan para diseñar el indicador o una batería de indicadores que esté orientada a responder a las preguntas e hipótesis, o los objetivos y metas que orientaron la construcción de la estrategia de monitoreo (Capítulo 3), generalmente en el contexto de proyectos de gestión integral de biodiversidad (Capítulo 1).

Para ser útiles, los indicadores deben cumplir con algunos criterios generales de selección, independientemente del tipo de estrategia en el cual van a ser utilizados. Algunos de estos criterios son: específico para una meta, medible en una temporalidad determinada, alcanzable con facilidad y relevante para el proceso de monitoreo (enfoque Smart: *specific, measurable, attainable, relevant, timely*). También, deben ser completos para abordar la pregunta de monitoreo, comprensibles de manera objetiva, con un límite de tiempo, y habilitantes para generar acciones de acuerdo con los resultados obtenidos del monitoreo (enfoque CUTE: *comprehensive, understandable, time-bound, enabling*; Bridgewater, 2011). A continuación se describen algunos de los marcos más utilizados para la selección de indicadores de biodiversidad y se dan las consideraciones generales a tener en cuenta para la selección participativa de indicadores, la cual garantiza la medición del progreso hacia las contribuciones basadas en la naturaleza.

**MARCOS DE SELECCIÓN DE INDICADORES EN EL MONITOREO DE BIODIVERSIDAD.** Dada la complejidad de los motores de cambio que impulsan la pérdida de biodiversidad y considerando la evaluación continua de las metas propuestas a nivel global, se hace necesario contar con métricas que capturen la mayoría de las dimensiones de la biodiversidad (Pereira et al., 2013). Los documentos desarrollados en torno de la jerarquía de mitigación de impactos en la biodiversidad contemplan abarcar los múltiples niveles de la organización biológica (Bracy et al., 2020). La estructura ampliamente aceptada es la propuesta por Noss (1990), el cual retoma los atributos principales de la biodiversidad —la composición, la estructura y la función— propuestos originalmente por Franklin et al. (1981). A estos atributos les asocia métricas dentro de una jerarquía anidada que incorpora niveles de organización biológica, como paisaje, comunidad-ecosistema, población-especie y genes (Figura 7.1; Anexo A-4).

En la identificación y selección de indicadores de biodiversidad, se deben tomar en consideración las fuentes de los datos que generan dichas medidas. Iniciativas como el Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO) y la Red de Observación de la Biodiversidad (Biodiversity Observation Network – BON), identificaron un conjunto mínimo de métricas básicas que se pueden utilizar para informar sobre el cambio en la biodiversidad global, las variables esenciales de la biodiversidad (VEB). GEO BON definió seis clases de variables: composición genética, poblaciones de especies, rasgos de especie, composición de la comunidad, estructura del ecosistema y función del ecosistema (Pereira et al., 2013).

Sin embargo, se ha evidenciado que el conjunto actual de indicadores de biodiversidad no incorpora todas las clases de EBV por igual, monitoreando en menor medida variables relacionadas con el nivel genético y los atributos funcionales de especies y ecosistemas (Vihervaara et al., 2017). Las asimetrías en los datos primarios de biodiversidad constituyen una barrera para la definición robusta e integral de indicadores y, por ende, repercute en la definición de políticas

efectivas para la conservación de la biodiversidad. En la selección de indicadores para la biodiversidad, se debe tener en cuenta el sesgo existente, a fin de desarrollar estrategias para cubrir vacíos de datos e información (Proença et al., 2017).

**SELECCIÓN PARTICIPATIVA DE INDICADORES PARA EL MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD.** El desarrollo participativo de indicadores depende en gran medida del uso que las comunidades le dan a la biodiversidad y de los objetivos en los que estén interesadas, por lo que es útil preguntarse primero qué información es necesaria y apoya los objetivos del monitoreo para luego sí entrar a trabajar en los indicadores (Evans et al., 2016; Hobson et al., 2014) (Capítulos 2-3). Si el objetivo está desconectado de los intereses de las comunidades, estas no entenderán para qué sirven sus mediciones o no existirá motivación para lograr que se cumplan sus metas, por lo que el proceso de monitoreo puede fracasar o sus resultados pueden no reflejar a través de los indicadores los beneficios de la naturaleza que las comunidades están recibiendo (BIP, 2010; Dey & Schweitzer, 2014; Evans et al., 2016).

Para que las comunidades participen de manera activa en la selección y construcción de indicadores, tanto las metodologías como las cifras de los indicadores deben ser expresadas en términos claros. Generalmente, se recomienda identificar un listado preliminar de indicadores a partir de los modelos conceptuales —que, en lo posible, deben ser cocreados— y luego realizar talleres con las comunidades para la selección final. Se deben explicar claramente el objetivo y la meta a la que apuntan y dar la oportunidad de seleccionar los que son de mayor interés. Entender los indicadores permitirá darles más sentido a los procesos de toma y análisis de datos (Capítulos 5-6), independientemente de qué actores realicen cada paso (Arce-Plata et al., 2020).

A medida que se implementa el ciclo de monitoreo de forma participativa con actores locales, es importante tener talleres de retroalimentación en los que se ajusten, si es necesario, los pasos del ciclo de monitoreo (Capítulo 12). Si las comunidades no reconocen el valor del monitoreo que realizan o no reciben retroalimentación acerca de las metodologías que se emplean, es posible que pierdan interés, por lo cual es importante que sean parte activa del mayor número de pasos posibles del ciclo de monitoreo (Capítulos 1-3) (Dey & Schweitzer, 2014; Evans et al., 2016).

Concretamente, el diseño participativo de indicadores permite que las comunidades tengan más influencia en los resultados del monitoreo y así puedan usarlos para tomar decisiones autónomas en sus territorios con base en los indicadores que ellos mismos han construido y, posiblemente, con datos que ellos mismos han recolectado (Arce-Plata et al., 2020). De manera general, las comunidades locales son quienes están interactuando directamente con los procesos que ocurren en el área de monitoreo; por esto, comprender de dónde viene la construcción del indicador y por qué se usa le dará más peso a lo que el indicador comunique (Capítulo 8).

## 7.2.3. Desarrollo de indicadores

Dentro del ciclo de monitoreo, el desarrollo de los indicadores está integrado a la identificación de una necesidad de información, donde se deben tener en cuenta: el planteamiento de objetivos y metas (Capítulo 3), la identificación de variables a monitorear, la consecución de datos (Capítulo 5) y, finalmente, el cálculo de indicadores. El objetivo por el cual se plantea un indicador está relacionado con las preguntas, hipótesis, objetivos y metas del monitoreo (Capítulo 3). Estos pueden responder al objetivo de una política nacional o al interés específico de una investigación o una comunidad. En el caso particular de las metas, se requiere de cifras exactas que permitan medir el progreso del monitoreo a través de indicadores, por lo que las unidades de una meta y su indicador deben corresponder, por ejemplo, en número, área, porcentaje, entre otras medidas.

Es clave que las metas se seleccionen antes que los indicadores para garantizar su efectividad en la medición del progreso del proyecto de monitoreo; de no ser así, aparecerían problemas en algunos pasos del ciclo de monitoreo. Por ejemplo, los indicadores pueden no responder al objetivo planteado o generar una recolección de datos o modelamiento ineficiente, ya que es posible que requieran ajustes o su repetición y corrección. Una vez identificada la meta y el indicador, se debe definir la variable a monitorear. Los marcos de diseño y selección de indicadores guían también la definición de las variables, en la medida en que estas deben responder a los datos que se requieren para desarrollar los indicadores.

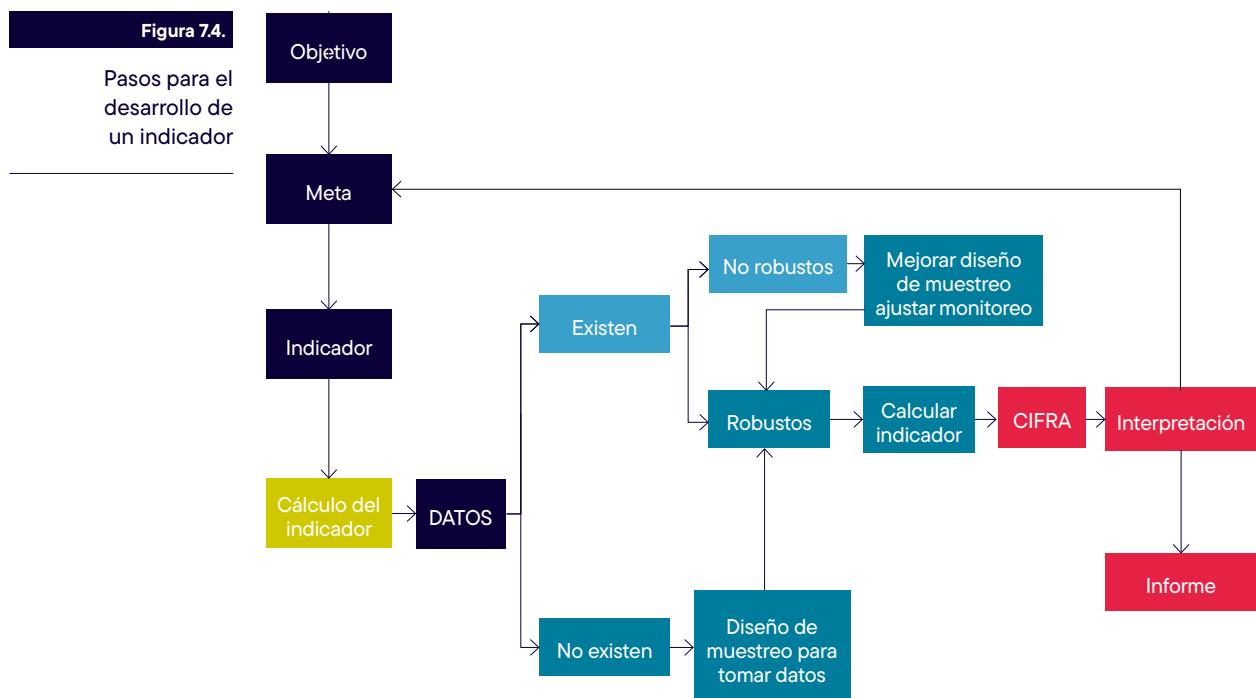
La recolección de datos es clave para asegurar que los recursos del monitoreo se ejecuten de manera eficaz y eficiente. En este sentido, deben estar disponibles, ser fácilmente medibles o ser susceptibles de modelarse, ya que ello garantiza que la medición de la variable se realice de manera recurrente y que los datos estén disponibles para el cálculo del indicador (Capítulo 9). La correspondencia entre los datos, la variable, el indicador, la meta y el objetivo de monitoreo evita el replanteamiento o recálculo de indicadores.

A continuación, se describen algunas consideraciones para tener en cuenta en el cálculo de indicadores y en la generación de su ficha metodológica.

**CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES.** Para el cálculo de indicadores se debe partir de la existencia de datos. Para algunos, habrá datos disponibles y no será necesario incorporar su recolección en la estrategia de monitoreo, ya que pueden obtenerse a partir de bases de datos existentes, sensores remotos o procesos de modelamiento (Capítulos 5, 6 y 9). En caso de que existan los datos, estos deben tener una coincidencia espacial y temporal con la variable de estudio y apuntar consistentemente a los atributos y niveles de biodiversidad seleccionados (Dale & Beyeler, 2001). Los indicadores de biodiversidad que están ligados a individuos, por ejemplo, solo pueden relacionarse con procesos que

existen en ese nivel jerárquico de organización (p. ej., tasas de crecimiento, cambios en tallas, peso, entre otros rasgos funcionales).

Si no existen los datos, es necesario plantear un diseño de muestreo específico (Capítulo 4) para recolectarlos (Capítulo 5) y/o un protocolo de modelamiento para su generación (Capítulo 6), garantizando siempre que haya una correspondencia entre los datos, la variable, el indicador, la meta y el objetivo de monitoreo. Una vez se garantice que los datos son robustos, se puede proceder con el cálculo del indicador (Figura 7.4). El resultado del indicador: la cifra, se debe interpretar con relación al contexto socioecológico y a la meta planteada para que indique realmente el cambio que ha tenido la variable de estudio. Además, se puede concluir y reportar si la meta planteada se ha cumplido. La interpretación y análisis de cifras permite la construcción de informes, cuyo fin es apoyar las decisiones que se toman en el territorio (Capítulos 8 y 10). Parte de esta interpretación debe estar planteada en la ficha de cálculo de los indicadores y en su visualización (Capítulo 8).



**FICHAS METODOLÓGICAS DE INDICADORES.** Las fichas metodológicas son esenciales en el desarrollo y posterior interpretación y divulgación de un indicador. El objetivo de una ficha metodológica es resumir de manera sintética cómo se calcula el indicador y cómo se interpreta la cifra resultante. Adicionalmente, se debe incluir información relacionada con el nombre del proyecto y del indicador, el objetivo planteado, la meta a la que responde el indicador, su periodicidad de

cálculo, su definición en el contexto del proyecto, la fórmula para su cálculo, y su metodología, interpretación, fuentes de las variables y datos utilizados, entre otros aspectos (DANE, 2012).

Dentro de los elementos más importantes se encuentran: la definición del indicador, donde se explica conceptualmente cada una de las variables incluidas en su cálculo; su metodología de cálculo, que incluye la explicación técnica sobre el proceso de obtención de los datos utilizados y la cifra resultado del indicador; la ecuación de cálculo y la descripción de cada variable utilizada con su respectiva sigla; las fuentes de información utilizadas; la periodicidad del reporte, donde se establece la frecuencia de cálculo del indicador; y su interpretación, en la que se explican los resultados del indicador en relación a los objetivos y metas planteadas (ver ejemplo en el Anexo A-5).

## 7.3. Escenarios

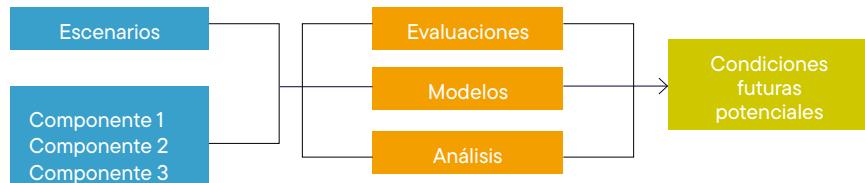
Un escenario es la descripción de posibles futuros (coherentes y consistentes). Los escenarios se basan en variables relevantes, cualitativas o cuantitativas (Carter & Rovere, 2001), a partir de las cuales se identifican eventos significativos de cambio, sus posibles consecuencias y los actores principales y sus motivaciones. La generación de escenarios ayuda a los tomadores de decisiones a enfrentar la incertidumbre y comprender cómo las decisiones tomadas se pueden desarrollar en el futuro, además de cuáles consecuencias podrían tener (Nakicenovic et al., 2000; Parsons et al., 2007; Caja 7.2).

En el caso particular de un proceso de monitoreo, los escenarios resultan altamente relevantes en dos vías: una, cuando se realiza monitoreo participativo, se pueden plantear escenarios con las visiones de las comunidades y trabajar conjuntamente la fase de planeación para definir los objetivos del monitoreo y los indicadores derivados (Capítulos 2-3); otra, cuando se quieren modelar los resultados del monitoreo en escenarios particulares para evaluar el efecto de algunas acciones derivadas, con el fin de evidenciar el comportamiento de variables o indicadores en el tiempo o en el espacio (Capítulo 6).

Sin embargo, es necesario diferenciar los escenarios de otros tipos de descripciones futuras, como las evaluaciones, modelos y análisis, en cuyo caso los escenarios se comprenden como una de las entradas, insumos o requerimientos que permiten desarrollar dichos métodos (Figura 7.5). A partir de esto, los escenarios tienen una amplia aplicación en la planificación ambiental, territorial, de políticas públicas y de gestión y conservación de la biodiversidad, y se convierten en un elemento primordial para proponer y desarrollar posibles soluciones en diferentes ámbitos.

**Figura 7.5.**

Escenarios como insumo para evaluar las condiciones futuras en un sistema socioecológico

**Componentes/entradas****Método****Resultado**

Se debe también destacar que los escenarios hasta ahora propuestos fallan en establecer el rol de la naturaleza y los beneficios que esta trae en el desarrollo socioeconómico (Rosa et al., 2017), además de no capturar la dinámica y las conexiones entre los agentes de cambio a diferentes escalas espaciales, problema que surge al tratar de adaptar los escenarios globales a las problemáticas locales sin tener en cuenta estas interacciones (Kok et al., 2017). No obstante, existen algunas propuestas para adaptar visiones globales a problemáticas locales identificadas (Lundquist et al., 2021; Pereira et al., 2020), donde, además, han surgido procesos de monitoreo comunitario (Arce-Plata et al., 2020).

Caja 7.2.

## ¿Qué no es un escenario?

Los escenarios difieren de las predicciones, proyecciones y pronósticos, ya que, en primer lugar, se basan en múltiples características de diferentes orígenes (cuantitativos, cualitativos,

precisos, difusos, etc.), pueden llegar a ser menos precisos y confiables y, generalmente, expresan una temporalidad futura de largo plazo (Parsons et al., 2007; Figura 7.6).

**Figura 7.6.**

Escenarios, proyecciones, predicciones y pronósticos

- Datos con diferentes orígenes que se integran: menor exactitud
- Cuantitativos
  - Cualitativos
  - Difusos
  - Precisos
  - Basados en supuestos
  - Basados en investigación

- Datos con diferentes orígenes que se utilizan por separado: mayor exactitud
- Cuantitativos
  - Cualitativos
  - Precisos
  - Basados en investigación

**Escenarios**  
Es necesario presentar múltiples escenarios

Condiciones futuras potenciales a largo plazo cuyo nivel de detalle es subjetivo y contexto dependiente, representando un menor grado de confianza (umbral).

- Predicciones**  
**Proyecciones**  
**Pronósticos**

Condiciones futuras potenciales a corto plazo con mayor precisión y detalle, representando un mayor grado de confianza.

**Datos de entrada****Escenarios / modelos****Resultado**

## 7.3.1. Marcos para el diseño de escenarios

Se han desarrollado distintos escenarios basados en tendencias de cambio; sin embargo, muchos de ellos comparten características que permiten agruparlos en seis familias (Van Vuuren et al., 2012): 1) escenarios de optimismo económico-tecnológico o de mercados convencionales, 2) escenarios de mercados reformados, 3) escenarios de sostenibilidad global, 4) escenarios de competencia regional o de mercados regionales, 5) escenarios de desarrollo sostenible regional y 6) escenarios habituales o tendenciales. Estas familias de escenarios pueden aplicarse de manera distinta al monitoreo de la biodiversidad, basados en el cambio de variables de estado o presión. Esta aplicación genera distintas tipologías de escenarios que determinan la contribución efectiva de distintas acciones al alcance de las metas. Entre estas tipologías, según Carter & Rovere (2001), se encuentran: escenarios socioeconómicos, de uso y cobertura de la tierra, ambientales, climáticos y de nivel del mar.

**ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS.** Están en su mayoría relacionados con emisiones de efecto invernadero y se basan en proyecciones, por ejemplo, del crecimiento poblacional y económico, basando sus trayectorias en cambios relacionados con el desarrollo de tecnología de las naciones o estilos de gobierno.

**ESCENARIOS DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA.** Se relacionan con problemáticas sociales como la seguridad alimentaria, el ciclo y almacenamiento de carbono, y la deforestación. La mayor crítica a este tipo de escenarios es que no incluyen el cambio climático de manera explícita.

**ESCENARIOS AMBIENTALES.** Integran de manera explícita el cambio climático al incorporar variables ambientales como dióxido de carbono, ozono troposférico, compuestos acidificantes y radiación ultravioleta, además de otras variables ambientales relacionadas, por ejemplo, con la disponibilidad, uso y calidad del agua, y contaminación marina.

**ESCENARIOS CLIMÁTICOS.** Este tipo de escenarios basan sus trayectorias exclusivamente en el modelamiento del clima, simulando futuros comportamientos de este con base en cambios ambientales o socioeconómicos. Los escenarios climáticos pueden considerarse también de tipo ambiental, pero los escenarios ambientales no son exclusivamente climáticos.

**ESCENARIOS DE NIVEL DEL MAR.** Se relacionan con la amenaza que representa el aumento del nivel del mar para algunos asentamientos humanos, ecosistemas y zonas costeras en general. También permiten explorar y evaluar medidas de adaptación y mitigación de inundaciones. Al igual que los escenarios climáticos, estos también pueden considerarse de tipo ambiental, pero los escenarios ambientales no son exclusivamente de nivel del mar.

Las familias y tipologías pueden combinarse para generar diversos escenarios (ver ejemplo en Caja 7.3), entre los que se destacan tres marcos de referencia utilizados a nivel mundial: la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Reid et al., 2005; Anexo B-1); el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC (Anexo B-2), y los futuros naturales de IPBES (Anexo B-3). En general, estos marcos y metodologías se han usado para la generación de escenarios que exploran la pérdida de la biodiversidad y las consecuencias del aumento del cambio climático a escala global.

## Aplicación de familias de escenarios de uso y cobertura de la tierra

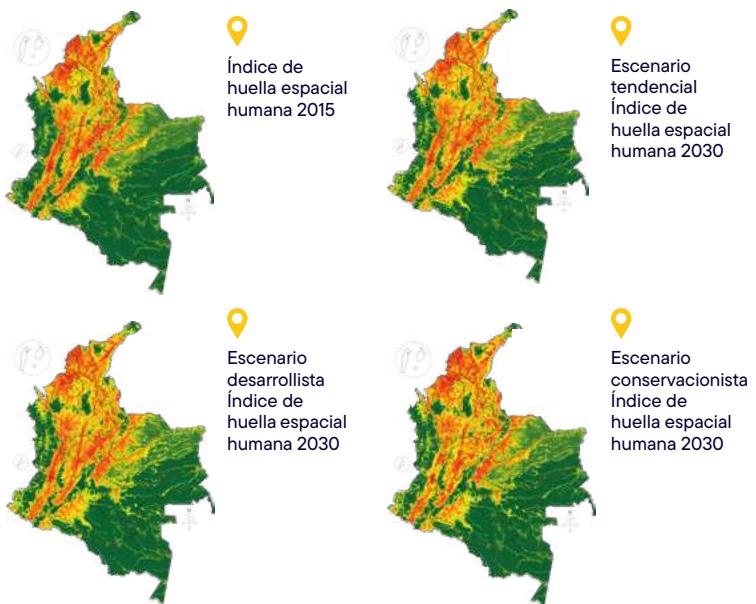
El índice de huella espacial humana (IHEH) es una aproximación a la intensidad del impacto antrópico acumulado sobre los ecosistemas terrestres en Colombia y tiene en cuenta, como una de sus variables principales, el cambio y uso de la tierra (Correa-Ayram et al., 2020). Díaz-Timoté et al. (2019) utilizaron tres familias de modelos: tendencial (habituales o tendenciales), conservacionista (sostenibilidad global) y desarrollista (optimismo económico-tecnológico o mercados convencionales) para proyectar los cambios del IHEH a 2030.

Los resultados muestran el incremento de la huella humana en todos los escenarios evaluados. En comparación con el escenario actual, el conservacionista es 50 % menor, mientras que el desarrollista es 50 % mayor que el tendencial. Los resultados a escala regional muestran que en el escenario tendencial y el desarrollista las regiones Pacífica, Orinoquia y Amazonia presentarían más impacto. Por el contrario, las regiones Andina, Caribe y Catatumbo fueron las que presentaron la mayor disminución de huella en el escenario conservacionista (Figura 7.7).

Figura 7.7.

Escenarios a 2030 del índice de huella espacial humana (IHEH)

Fuente: Díaz-Timoté et al. (2019)



## 7.3.2. Selección de escenarios

Al igual que los indicadores, los escenarios están estrechamente relacionados con metas. El desarrollo de escenarios futuros de clima, por ejemplo, ha permitido fijar la meta de mantener el calentamiento global por debajo de los 2° C (WWF, 2018). De esta manera, la selección de escenarios está guiada en gran medida por las necesidades de los investigadores y tomadores de decisiones de explorar las posibles direcciones futuras con diferentes niveles de biodiversidad, por los impactos de las actividades antrópicas y por la necesidad de evaluar el impacto de la intervención de distintas políticas o acciones que hagan frente a esos posibles cambios.

Siguiendo el marco del Informe Planeta Vivo (WWF, 2018), se pueden seleccionar escenarios de acuerdo con tres propósitos: exploración, intervención y evaluación. Los escenarios de exploración pueden contribuir a la identificación de los futuros posibles de la biodiversidad y son los que ayudan a construir agendas ambientales. Los escenarios de intervención apoyan el desarrollo de alternativas para alcanzar metas u objetivos y, por ende, ayudan a la identificación de posibles políticas a implementar para garantizar el cumplimiento de los compromisos.

Finalmente, los escenarios se basan en una evaluación continua en la que se da una nueva mirada a las tendencias y se establece si las metas se han cumplido y las políticas han funcionado (Figura 7.8).

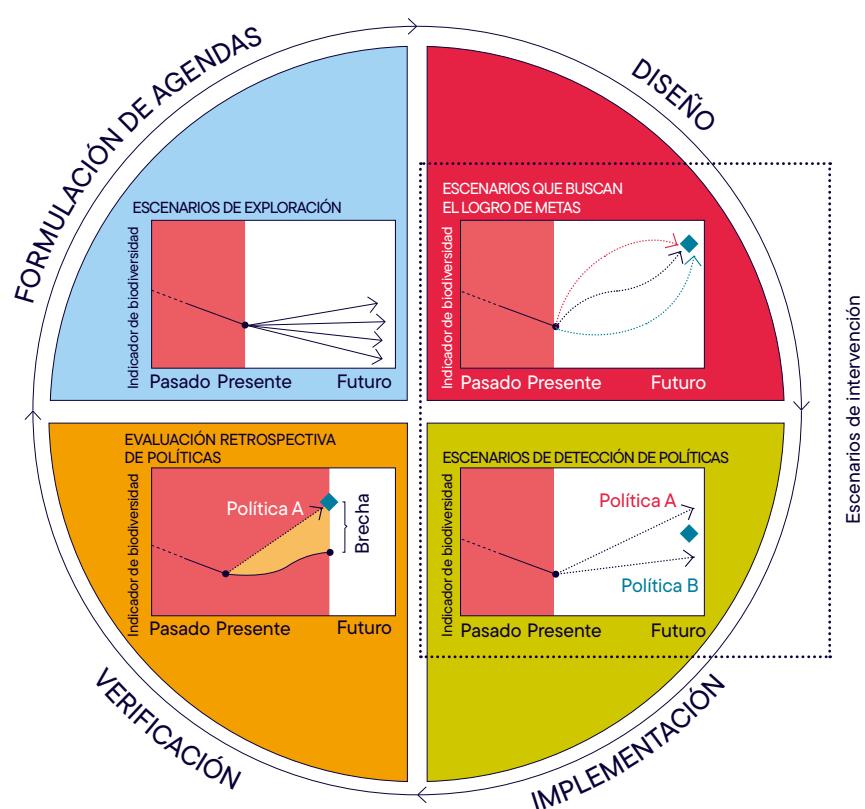


Figura 7.8.

Utilidad de los escenarios en la formulación de políticas públicas

Fuente: WWF (2018).

### 7.3.3. Selección participativa de escenarios

La información colectada a partir de un proceso de monitoreo puede usarse también para desarrollar escenarios narrativos. Estos se pueden trabajar en la fase de planeación y resultan fundamentales para orientar el monitoreo de acuerdo con los intereses y necesidades de la comunidad con relación a la biodiversidad (Capítulos 2-3). Cuando se realiza monitoreo participativo, se pueden plantear escenarios con las visiones de las comunidades y trabajar conjuntamente para definir los objetivos del monitoreo y los indicadores derivados (Figura 7.9). La importancia de realizar este ejercicio con las comunidades es que el monitoreo no solo responda a una pregunta guiada por interés de externos, sino que las dinámicas emergentes respondan a los intereses de las comunidades, en la medida en que los escenarios se adaptan a las realidades y visiones locales y regionales (Evans et al., 2016).

Figura 7.9.

Incidencia de los escenarios en el ciclo de monitoreo (Capítulo 1)



Los escenarios narrativos construyen futuros posibles a partir de grandes temáticas asociadas a las dinámicas del territorio impulsadas por distintas fuerzas de cambio, las cuales pueden basarse o no en los marcos construidos globalmente. El desarrollo de escenarios fomenta una discusión acerca de las metas, intereses, retos y oportunidades potenciales de manejo de los recursos de los territorios y respecto de las acciones que las comunidades ejercen sobre ellos (Waylen et al., 2014). Por tanto, el conocer cómo se imaginan las comunidades su territorio en el futuro contribuye a la identificación de objetivos relevantes para el monitoreo y orienta también la construcción de indicadores (Figura 7.9). Además, esta discusión permite validar el uso de los escenarios globales aplicados a escalas locales (Caja 7.4).

Caja 7.4.

#### Preguntas orientadoras de posibles escenarios en el territorio

Pereira et al. (2020) desarrollaron un marco de construcción de escenarios basados en el marco de Futuros Naturales IPBES, el cual es una guía para la generación de escenarios posibles en los territorios. Arce-Plata et al. (2020) construyeron escenarios participativos con las comunidades de los Montes de María aplicando estas narrativas, de donde se pueden extraer

estas preguntas orientadoras que dan paso a la discusión sobre posibles escenarios futuros: ¿cómo se imaginan un futuro ideal a un tiempo propuesto?, ¿cuál sería el peor escenario posible? y, ubicando eventos negativos que se puedan dar en este tiempo, ¿qué pasaría en este mismo tiempo si todo se siguiera manejando tal como se hace actualmente?

# 7.4. Conclusiones

Los indicadores son parte fundamental de la implementación de proyectos de monitoreo. A través de ellos se puede medir la efectividad de los proyectos y, en esa medida, fomentar la consecución de recursos en caso de presentar resultados positivos o, por el contrario, tomar acciones correctivas en caso de no presentar mejoras en la consecución de los objetivos y metas propuestas. Los indicadores ayudan a evaluar el progreso respecto de diferentes metas y objetivos, y miden el estado y tendencias de variables, mientras los escenarios exploran y evalúan futuros posibles. En ambos casos, el diseño de indicadores y de escenarios debe tener en cuenta marcos propuestos que faciliten su selección y aplicación.

La selección de indicadores depende de los objetivos y metas del proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad, pero es ideal contar con indicadores que evalúen distintos atributos de la biodiversidad, como composición, estructura y función. Indicadores o escenarios que permitan evaluar aquellos niveles que son comúnmente menos monitoreados: por ejemplo, nivel genético y funcional, deberían recibir especial atención a nivel global, ya que pueden dar señales sobre aspectos de la biodiversidad poco conocidos.

La inclusión de la comunidad en el diseño y definición de indicadores, así como en la evaluación de cómo se ve en escenarios futuros, es vital respecto de la relevancia local y la continuidad de los ejercicios de monitoreo. Partir de construcciones colectivas de los indicadores o contar con escenarios que describan las narrativas e imaginarios de las comunidades sobre su territorio favorece su empoderamiento del proceso y, por ende, aumenta la probabilidad de éxito (Capítulo 11).

Los indicadores tienen un claro potencial para ayudar a la toma de decisiones, permiten identificar tendencias, facilitan información sobre el estado de la biodiversidad y los beneficios de la naturaleza a los tomadores de decisiones y al público en general, favorecen la inclusión de las temáticas monitoreadas en las agendas políticas, ayudan a evaluar el cumplimiento de los objetivos y metas, así como su revisión, y facilitan la preparación y el seguimiento de los planes.

# Referencias

- Ackoff, R. (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16, 3-9.
- Arce-Plata, M., Herrera Varón, Y., Gutiérrez Montoya, C., & Londoño Murcia, M. C. (2020). *Monitoreo comunitario de la biodiversidad en Montes de María*. Instituto Humboldt.
- BIP - Biodiversity Indicators Partnership (2010). Biodiversity indicators and the 2010 Target: Experiences and lessons learnt from the 2010 Biodiversity Indicators Partnership. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series No. 53, 196.
- Bracy Knight, K., Seddon, E. S., & Toombs, T. P. (2020). A framework for evaluating biodiversity mitigation metrics. *Ambio*, 49(6), 1232-1240. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01266-y>
- Bridgewater, P. (2011). Smart or CUTE - what makes a good target?: What makes a good target? *Botanical Journal of the Linnean Society*, 166(3), 240-249. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01149.x>
- Brooks, S., & Bubb, P. (2014). Key knowledge for successful biodiversity indicators. UN-EP-WCMC, BIP, NBSAP.
- Carter, T. R., La Rovere, E. L., Jones, R. N., Leemans, R., Mearns, L. O., Nakicenovic, N., ... & Skea, J. (2001). Developing and applying scenarios. *Climate change*, 200, 145-190. <https://acortar.link/9F4nUz>
- Correa Ayram, C. A., Etter, A., Díaz-Timoté, J., Rodríguez Buriticá, S., Ramírez, W., & Corzo, G. (2020). Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Ecological Indicators*, 117, 106630. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106630>
- Dale, V. H., & Beyeler, S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1(1), 3-10. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6)
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2012). Introducción al diseño, construcción e interpretación de indicadores. Serie Herramientas estadísticas para una gestión territorial más efectiva, 2.
- Dey, D. C., & Schweitzer, C. J. (2014). Restoration for the future: Endpoints, targets, and indicators of progress and success. *Journal of Sustainable Forestry*, 33(sup1), S43-S65. <https://doi.org/10.1080/10549811.2014.883999>
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ..., & Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework. Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Díaz-Timoté, J., Ayram, C. A. C., Rodríguez-Buriticá, S., & Rothlisberger, A. E. (2019). *Escenarios de impacto humano a 2030*. Reporte Bio 1. Instituto Humboldt.
- Evans, K., Marchena, R., Flores, S., Pikitle, A., & Larson, A. M. (2016). *Guía práctica para el monitoreo participativo de gobernanza*. Cifor.

- Franklin, J. F., Cromack, K. Jr., Denison, W., McKee, A., Maser, C., Sedell, J., ..., & Juday, G. (1981). *Eco-logical characteristics of old-growth Douglas-fir forests* (p. 48). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Han, X., Smyth, R. L., Young, B. E., Brooks, T. M., Lozada, A. S. de, Bubb, P., ..., & Turner, W. R. (2014). A biodiversity indicators dashboard: Addressing challenges to monitoring progress towards the aichi biodiversity targets using disaggregated global data. *Plos One*, 9(11), e112046. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112046>
- Hobson, K., Mayne, R., & Hamilton, J. (2014). *A step by step guide to monitoring and evaluation*. Evaloc, ECI.
- Hunsaker, C., & Carpenter, D. (1990). *Environmental monitoring and assessment program: Ecological indicators*. [U.S. Federal Government Document, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency].
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, B., Fenmann, J., Gaffin, S., ..., & Dadi, Z. (2000). IPCC: *Special report on emissions scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.grida.no/publications/120>
- Kok, M. T. J., Kok, K., Peterson, G. D., Hill, R., Agard, J., & Carpenter, S. R. (2017). Biodiversity and ecosystem services require IPBES to take novel approach to scenarios. *Sustainability Science*, 12(1), 177-181. <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0354-8>
- Lundquist, C., Hashimoto, S., Denboba, M. A., Peterson, G., Pereira, L., & Armenteras, D. (2021). Operationalizing the nature futures framework to catalyze the development of nature-future scenarios. *Sustainability Science*, 16(6), 1773-1775. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01014-w>
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (1999). *OECD Principles of Corporate Governance*.
- OCDE- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2003). *OECD Annual Report 2003*. <https://doi.org/10.1787/annrep-2003-en>
- OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2005). *OCDE Annual Report 2005*. <https://doi.org/10.1787/annrep-2005-en>
- Parsons, W., Aguilar, A. A., De Hoyos, I. M., & Fuentes, T. L. (2007). *Políticas públicas: una introducción a la teoría y la práctica del análisis de políticas públicas*. Flacso México. <https://www.jstor.org/stable/j.ctt16f98w8>
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J., ..., & Wegmann, M. (2013). Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117), 277-278. <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
- Pereira, L. M., Davies, K. K., Den Belder, E., Ferrier, S., Karlsson-Vinkhuyzen, S., Kim, H., ..., & Lundquist, C. J. (2020). Developing multiscale and integrative nature. People scenarios using the nature futures framework. *People and Nature*, 2(4), 1172-1195. <https://doi.org/10.1002/pan3.10146>
- Proença, V., Martin, L. J., Pereira, H. M., Fernandez, M., McRae, L., Belnap, J., ..., & Van Swaay, C. A. M. (2017). Global biodiversity monitoring: From data sources to essential biodiversity variables. *Biological Conservation*, 213, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.014>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capristano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., ..., & Zurek, M. B. (2005). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio 1* [Informe de Síntesis 2, Borrador final, Milenio 1].

- niun Ecosystem Assessment]. <http://millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>
- Rosa, I. M. D., Pereira, H. M., Ferrier, S., Alkemade, R., Acosta, L. A., Akcakaya, H. R., ..., & Van Vuuren, D. (2017). Multiscale scenarios for nature futures. *Nature Ecology & Evolution*, 1(10), 1416-1419. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0273-9>
- Ruckelshaus, M. H., Jackson, S. T., Mooney, H. A., Jacobs, K. L., Kassam, K.-A. S., Arroyo, M. T. K., ..., & Ouyang, Z. (2020). The IPBES global assessment: Pathways to action. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(5), 407-414. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.01.009>
- Sparks, T. H., Butchart, S. H. M., Balmford, A., Bennun, L., Stanwell-Smith, D., Walpole, M., ..., & Green, R. E. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Oryx*, 45(3), 411-419. <https://doi.org/10.1017/S003060531100024X>
- Van Vuuren, D. P., Kok, M. T. J., Girod, B., Lucas, P. L., & De Vries, B. (2012). Scenarios in global environmental assessments: Key characteristics and lessons for future use. *Global Environmental Change*, 22(4), 884-895. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.06.001>
- Vihervaara, P., Auvinen, A. P., Mononen, L., Törmä, M., Ahlroth, P., Anttila, S., ..., & Virkkala, R. (2017). How essential biodiversity variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation*, 10, 43-59. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.01.007>
- Waylen, K. A., Hastings, E. J., Banks, E. A., Holstead, K. L., Irvine, R. J., & Blackstock, K. L. (2014). The need to disentangle key concepts from ecosystem-approach jargon. *Conservation Biology*, 5, 1215-1224.
- WHO - World Health Organization (2002). Health in sustainable development planning: The role of indicators / Yasmin von Schirnding. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67391>
- WWF - World Wide Fund for Nature (2018). *Informe Planeta Vivo 2018: apuntando más alto*. Grooten, M. y Almond, R.E.A. (eds).





Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Material suplementario

**A.** Diseño, selección y presentación de indicadores:

- A1.** Marco presión, estado, respuesta, beneficios.
- A2.** Marco IPBES.
- A3.** Correspondencia entre indicadores en los marcos PERB e IPBES.
- A4.** Ejemplos de selección de indicadores.
- A5.** Ejemplo de la ficha metodológica de un indicador.

**B.** Diseño, selección y presentación de escenarios:

- B1.** Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM, 2005).
- B2.** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC.
- B3.** Futuros naturales IPBES.

# A. Diseño, selección y presentación de indicadores

## A1. Marco presión, estado, respuesta, beneficios

En este marco, se plantea la construcción de indicadores dentro de los siguientes componentes: presión, estado, respuesta, beneficios.

**PRESIÓN.** Este tipo de indicadores permite identificar aquellas actividades que por lo general son de origen antrópico y que afectan en mayor medida a los sistemas naturales. Los indicadores de presión suelen ser de fácil medición, por lo que permiten la identificación de la tendencia en el comportamiento de ciertas variables ecológicas dentro de un proyecto de monitoreo (Nassl & Löffler, 2015). En el marco PERB, las presiones hacen alusión a los motores de pérdida de biodiversidad, entre los que se encuentran: cambio en el uso de la tierra, cambio climático, contaminación, uso y explotación de recursos naturales, y especies invasoras (Reid et al., 2005), de allí que permitan monitorear los efectos que estos motores tienen en los sistemas naturales que se estudian.

**ESTADO.** Hacen referencia a las condiciones o al cambio de estado de un sistema natural, elementos de la biodiversidad o características ecológicas. Permiten describir de manera general el sistema natural de estudio y deben incluir de manera amplia los atributos de la biodiversidad, en términos de composición, estructura y función en todos los niveles jerárquicos: genes, especies, comunidades y paisajes (Noss, 1990). De esta manera, se garantiza que se monitoreen de manera integrada propiedades clave de los sistemas naturales en estudio.

**RESPUESTA.** Se relacionan con las acciones humanas realizadas como consecuencia de problemas específicos que eventualmente pueden disminuir las presiones sobre los sistemas naturales (Burkhard & Müller, 2008). Estos indicadores están ligados, además, a otros aspectos, como la legislación, la planeación y la educación de cada nación.

**BENEFICIOS.** Se relacionan con los beneficios que reciben las personas de la biodiversidad (Sparks et al., 2011), entendiéndose como servicios ecosistémicos (Reid et al., 2005) o contribuciones basadas en la naturaleza (Díaz et al., 2015).

El concepto de beneficios hace referencia a la relación continua entre la naturaleza y los humanos, en donde la calidad de los recursos (estado) repercute directamente en la calidad de vida humana (Díaz et al., 2015).

## A2. Marco IPBES

La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES) es una dependencia de las Naciones Unidas en la que se pretenden integrar diferentes sistemas de conocimiento en la toma de decisiones y desarrollo de las políticas de los Estados que hacen parte de la plataforma, con el fin de hacer un uso sostenible de la biodiversidad y garantizar el bienestar de los humanos a futuro (Díaz et al., 2015; Ruckelshaus et al., 2020). De acuerdo con Díaz et al. (2015), el marco IPBES está conformado por seis componentes interrelacionados: naturaleza; activos antropogénicos; contribuciones de la naturaleza para las personas; impulsores directos de cambio; instituciones, sistemas de gobernanza y otros impulsores indirectos de cambio; y buena calidad de vida.

**NATURALEZA.** Componente referido al mundo natural a la luz de diferentes sistemas de conocimiento. Desde un ámbito científico, se refiere a lo biótico, los ecosistemas o la biosfera, entre otros, mientras que en sistemas de conocimiento ancestral se reconoce como la madre tierra o sistemas de vida.

**ACTIVOS ANTROPOGÉNICOS.** Remite a la infraestructura construida por el hombre, como centros de salud, centros de conocimiento, educación formal y no formal, centros financieros, centros de tecnología, entre otros.

**CONTRIBUCIONES DE LA NATURALEZA PARA LAS PERSONAS.** Incluye todos aquellos beneficios y servicios que ofrece la naturaleza a las personas, a través de los cuales se obtienen beneficios y calidad de vida.

**IMPULSORES DIRECTOS DE CAMBIO.** Estos pueden ser de origen natural o antropogénico y producir un impacto positivo o negativo en la naturaleza y, por ende, contempla los beneficios que esta provee a las personas. Algunos impulsores de origen natural son fenómenos naturales, inundaciones, erupciones volcánicas, terremotos, entre otros. Los impulsores de origen antropogénico son frecuentemente producto de decisiones humanas, como conversión del hábitat o contaminación de agua y tierra.

**INSTITUCIONES, SISTEMAS DE GOBERNANZA Y OTROS IMPULSORES INDIRECTOS DE CAMBIO.** Dentro de un grupo de personas que usan un recurso común es indispensable que se establezcan reglas o políticas que enmarquen,

limiten o regulen el uso de los recursos naturales. Estas normas se organizan en sistemas de gobernanza o instituciones que tienen un efecto indirecto sobre la naturaleza, ya que se trata de las decisiones sobre los recursos.

**BUENA CALIDAD DE VIDA.** Se relaciona con el bienestar humano y puede variar dependiendo de la cultura o sociedad a la que pertenezca cada persona. Dentro de la calidad de vida, se encuentran aspectos como el acceso a los alimentos, a la salud, al agua y a la libertad de acción, entre otros.

Díaz et al. (2015) proponen el siguiente ejemplo para describir las relaciones entre los componentes del marco:

Existen más de 28 000 especies de peces, registradas en 43 zonas ecológicamente homogéneas en los ecosistemas marinos mundiales y, probablemente, quedan muchas más por descubrir (naturaleza). Con una red mundial de infraestructura compuesta por puertos e industrias de procesamiento y varios millones de buques (activos antropógenos), se pescan casi 78 millones de toneladas de pescado por año. Se prevé que el pescado sea uno de los artículos más importantes en la alimentación de más de 7000 millones de personas (beneficios de la naturaleza). Esta es una contribución importante a las proteínas animales necesarias para la seguridad alimentaria (buena calidad de vida).

## **A3. Correspondencia entre indicadores en los marcos PERB e IPBES**

Se categorizaron algunos ejemplos de los indicadores resaltados por el IPBES (2023) dentro de las dimensiones de los marcos PERB e IPBES. En algunos casos un indicador puede estar en más de una categoría y esto se debe a que el contexto en el que se presenta puede hacer que varíe la categoría a la que pertenece. En general, los indicadores diseñados en el marco IPBES tienen un enfoque centrado en el monitoreo de las contribuciones de la naturaleza a las personas, mientras el marco PERB se centra en las relaciones entre las presiones y el estado de la biodiversidad. Los indicadores de presiones del marco PERB tienden a enfocarse en efectos negativos de acciones humanas sobre la biodiversidad, mientras el marco IPBES incluye este tipo de presiones como impulsores directos, considerando también efectos positivos (p. ej., el establecimiento de áreas protegidas) dentro de esta categoría. Los impulsores indirectos del marco IPBES hacen referencia en su mayoría al reflejo de políticas, por lo que comúnmente se enmarcan dentro de la categoría de indicadores de respuesta en el marco

PERB. Los indicadores relacionados a contribuciones a la naturaleza, la buena calidad de vida y los activos antropogénicos del marco IPBES hacen referencia a indicadores de respuesta o beneficio del marco PERB; no obstante, algunos de ellos también pueden categorizarse como indicadores de presión, dependiendo de su contexto (Tabla A1).

Indicador	IPBES	PERB
Abundancia media de especies.	Naturaleza.	Estado
Índice de tendencia de extensión de humedales.	Naturaleza. Contribuciones de la naturaleza.	Estado Beneficio
Gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB.	Activos antropogénicos. Impulsores indirectos.	Respuesta Beneficio
Área bajo producción de cereales.	Contribuciones de la naturaleza. Impulsores directos.	Beneficio Presión
Tendencias en el número de eventos de introducción de especies exóticas invasoras.	Impulsores directos.	Presión
Superficies de tierras agrícolas de conservación.	Impulsores directos. Impulsores indirectos.	Respuesta
Índice de representatividad de áreas protegidas.	Impulsores directos. Impulsores indirectos.	Estado Respuesta
Aumento de los registros de presencia de especies accesibles a través de GBIF.	Impulsores indirectos.	Estado Respuesta
Número de sitios de patrimonio natural mundial por país y por año.	Buena calidad de vida. Contribuciones de la naturaleza. Impulsores indirectos.	Respuesta Beneficio
Porcentaje de población que utiliza servicios de agua potable gestionados de forma segura.	Buena calidad de vida.	Beneficio

## A4. Ejemplos de selección de indicadores

Atributo / nivel	Composición	Estructura	Función
Paisaje	Identidad, distribución, riqueza y proporciones de tipo de parches ( hábitat) y tipos de paisajes multiparches; patrones de distribución de especies (riqueza, endemismos).	Heterogeneidad; conectividad; corredores; parches; porosidad; contraste; fragmentación; frecuencia de distribución del tamaño de parche; relación área-perímetro; patrones de distribución de hábitat.	Procesos de disturbios (frecuencia o intervalo de retorno, período de rotación, intensidad, severidad, estacionalidad); tasas de ciclo de nutrientes; tasa de flujos de energía; tasas de persistencia de parches; tasas de procesos de erosión; tendencias de uso de la tierra.
Comunidad /ecosistema	Identidad, abundancia relativa, frecuencia, riqueza y diversidad de especies; proporción de especies endémicas, exóticas, amenazadas y en peligro; curvas de dominancia; proporción de formas de vida; coeficientes de similaridad.	Variables del sustrato y suelo; pendiente; biomasa de la vegetación; densidad del follaje; densidad, abundancia y distribución de rasgos físicos clave (p. ej. afloramientos, sumideros, turberas); disponibilidad de agua y recursos; cobertura de nieve.	Productividad de biomasa; tasas de herbivoría, parasitismo y depredación; tasas de colonización y extinciones locales; tasas de dinámicas de parches (procesos de disturbios a escala fina); ciclos de nutrientes; tasas e intensidad de intrusión humana.
Poblaciones /especies	Abundancia absoluta o relativa; frecuencia; biomasa; densidad.	Dispersión (microdistribución); rango (macrodistribución); estructura poblacional (proporción de sexo, rangos de edad).	Procesos demográficos (fertilidad, tasas de reclutamiento, mortalidad, supervivencia); dinámicas metapoblacionales; genética poblacional; fluctuaciones poblacionales; fisiología; historia de vida; fenología; tasa de crecimiento; aclimatación; adaptación.
Genética	Diversidad alélica, presencia de alelos raros, recesivos deletéreos o variantes cariotípicas.	Censos y efectividad del tamaño poblacional; heterocigosidad; polimorfismo de cromosomas o fenotipos; solapamiento generacional; heredabilidad.	Depresión endogámica; tasa de reproducción; tasa de deriva genética; flujo génico; tasa de mutaciones; intensidad de selección.

Tabla A.2.

Variables e indicadores para monitoreo por cada atributo y nivel de la biodiversidad

Fuente: adaptada de Noss (1990).

# A5. Ficha metodológica de un indicador

Tabla A.3.

Nombre del proyecto		Monitoreo de plan de restauración
Ficha metodológica del indicador "densidad de tallos" <sup>*</sup>		Densidad de tallos.
Objetivo		Mejorar la estructura del paisaje transformado a través de planes de restauración que contribuyan a la conectividad de parches remanentes de bosque.
Meta		Para el 2023 se habrán sembrado 200 árboles en un área de 0,04 ha.
Identificación del indicador		
Tema de referencia	Estructura del ecosistema.	
Tipo de indicador (impacto o gestión)	Impacto.	
Periodicidad	Cada 3 años.	
Escala temporal según el proyecto (< 3 años – 3-10 años – ≥ 10 años)	3-10 años.	
Escala geográfica según el proyecto (< 10 ha – ≥ 10 ha)	< 10 ha.	
Descripción del indicador		
Definición	<p>González et al. (2015) aconsejan para el monitoreo de procesos de restauración, aunque también puede funcionar para procesos de preservación, hacer seguimiento a distintos componentes de la biodiversidad. Uno de estos se relaciona con la densidad de individuos, el cual se usa para la evaluación de la estructura de una comunidad vegetal. La densidad de individuos, en especial si se trata de individuos con diámetros altura pecho (DAP) &gt; 1 cm, refleja de forma indirecta el estado de naturalidad de una cobertura particular.</p> <p>Se espera que, a medida que una cobertura recupera su estructura boscosa natural, la densidad de individuos mayores a 1 cm de DAP aumente. Igualmente, la densidad de tallos de una cobertura boscosa tiende a disminuir si esta última presenta tala selectiva o deterioro del sotobosque.</p> <p>Se utiliza densidad de tallos (individuos con DAP &gt; 1 cm), pues es posible que en procesos tempranos de restauración la densidad de individuos con DAP &lt; 1 cm sea mayor que en estadios sucesionales tardíos. Sin embargo, se espera que el número y la densidad de individuos con DAP &gt; 1 cm sí aumenten a medida que avanza el proceso de regeneración.</p>	
Fórmula de cálculo	<p>Densidad de tallos (D).</p> $D = \sum I / \text{ha}$ <p>I = individuo &gt;1 cm DAP.</p>	
Metodología de cálculo	<p>Para el cálculo de este índice se deben sumar todos los individuos con DAP &gt; 1 cm dentro de la parcela de muestreo y extrapolar los resultados a 1 ha. Así, se pueden tener los datos de densidad de tallos por hectárea para cada tipo de cobertura o ecosistema.</p>	

Nombre del proyecto	Monitoreo de plan de restauración
Interpretación	$\Delta D = D_t - D_{t-1} / D_{t-1}$ <p><math>\Delta D &lt; 0</math> la densidad de tallos de la comunidad vegetal disminuyó respecto a <math>t-1</math>.</p> <p><math>\Delta D \approx 0</math> la densidad de tallos de la comunidad vegetal se mantuvo respecto a <math>t-1</math>.</p> <p><math>\Delta D &gt; 0</math> la densidad de tallos de la comunidad vegetal aumentó respecto a <math>t-1</math>.</p> <p>Según SER (2004), se hace necesario la comparación con ecosistemas de referencia para evidenciar si se han alcanzado estados similares de sucesión. Con este fin, se recomienda usar como ecosistema de referencia ya sea el ecosistema afectado por el proyecto o uno en estado natural cerca o dentro del área de compensación.</p>
<b>Fuentes de las variables</b>	
Nombre de la variable	Número de tallos.
Individuo >1 cm DAP	Conteo de individuos vivos.
<b>Observaciones generales</b>	
<p>Bibliografía: González et al. (2015); Heip et al. (1998); Moreno (2001); SER (2004).</p>	

## B. Diseño, selección y presentación de escenarios

### B1. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Montes & Sala, 2007) construyó escenarios con base en cinco motores principales de cambio: transformación de hábitat, sobreexplotación, especies exóticas invasoras, contaminación y cambio climático, y propuso cuatro escenarios futuros (Reid et al., 2005):

**ORQUESTACIÓN MUNDIAL.** El mundo está altamente globalizado y conectado y las acciones relacionadas con problemáticas ambientales se hacen de manera reactiva, se toman medidas frente a problemáticas de desigualdad y pobreza

y se invierte en temas de interés público, como infraestructura y educación; sin embargo, en este escenario es donde se da el mayor crecimiento económico de todos los escenarios a 2050.

**ORDEN DESDE LA FUERZA.** Se basa en un mundo regionalizado donde los mercados regionales adquieren mayor importancia con acciones frente a problemáticas ambientales que se hacen de manera reactiva. En este escenario, el crecimiento de la población es el más alto y el económico el más bajo de todos los escenarios.

**MOSAICO ADAPTATIVO.** La escala de la cuenca es el centro de las políticas y el desarrollo económico, y se desarrolla una gestión de ecosistemas a nivel local. El crecimiento económico es bajo al principio y va aumentando con el tiempo, y el crecimiento de la población es casi tan alto como en el escenario de orden desde la fuerza.

**TECNOJARDÍN.** Se basa en un mundo muy conectado que adquiere servicios ecosistémicos a través de arreglos de ingeniería. Las acciones frente a problemáticas ambientales se hacen de manera proactiva antes de que aparezcan. El crecimiento económico es alto y se acelera con el tiempo, y el crecimiento poblacional es un promedio de los tres escenarios anteriores.

## **B2. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**

Este marco se basa en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de 2030 y está orientado principalmente a tomadores de decisiones con el fin de que sus acciones sean inmediatas (ONU, 2019). Se basa en distintas perspectivas del medio ambiente mundial que generan sus escenarios con base en trayectorias socioeconómicas compartidas (*shared socioeconomic pathways - SSP*) (O'Neill et al., 2017). En estos escenarios se describen cinco rutas que el planeta puede tomar para mitigar y adaptarse al cambio climático, que incluyen temas como evolución de la energía, uso de la tierra y emisiones de gases efecto invernadero. Estos escenarios son: desarrollo sostenible (SSP1), desarrollo de término medio (SSP2), rivalidad regional (SPP3), desigualdad (SPP4), desarrollo de combustibles fósiles (SPP5).

**DESARROLLO SOSTENIBLE (SSP1).** El desarrollo tiene en cuenta los límites ambientales y hay un cambio lento hacia un desarrollo más sostenible impulsado

por la continua evidencia de las consecuencias del desgaste de la naturaleza. El uso de los bienes naturales comunes mejora hacia un uso más comunitario y colaborativo apoyado en organizaciones locales, nacionales e internacionales. El crecimiento económico se relaciona aún más con el bienestar humano y el crecimiento demográfico disminuye lentamente debido a la inversión en salud y en educación. En este escenario, las energías renovables y las tecnologías amigables toman relevancia.

**DESARROLLO DE TÉRMINO MEDIO (SSP2).** Los patrones económicos, tecnológicos y sociales siguen igual así como la desigualdad entre sociedades, al igual que la globalización, que mantiene mercados imperfectos. El uso de combustibles fósiles disminuye un poco, pero no se renuncia definitivamente a esta opción. El crecimiento demográfico se modera en la segunda mitad del siglo, pero la inversión de educación y salud es reducida, lo que no frena significativamente el crecimiento de la población en países de bajos ingresos, por lo que el bienestar humano no mejora en estas naciones.

**RIVALIDAD REGIONAL (SPP3).** Los conflictos regionales y la competitividad generan nacionalismo generalizado. Las instituciones internacionales no tienen alcance suficiente y tienen cooperación y coordinación ambiental desigual. Las políticas de las naciones se centran en la seguridad nacional y los temas locales o regionales toman más importancia, por lo que se establecen gobiernos autoritarios con economías reguladas basadas en problemas de seguridad alimentaria y energética.

**DESIGUALDAD (SPP4).** Existen oportunidades laborales desiguales en una sociedad internacional globalizada que no tiene acceso a la educación, posee muy bajos ingresos y trabaja generalmente como mano de obra. El poder político en este escenario es exclusivo de élites económicas muy pequeñas y las minorías tienen poca representación. El crecimiento económico es solo para países industrializados o de ingresos moderados, mientras que los países de bajos ingresos se ven cada vez más rezagados en sus economías.

**DESARROLLO DE COMBUSTIBLES FÓSILES (SPP5).** Los mercados competitivos tienen total protagonismo y el capital humano y el desarrollo tecnológico adquieren importancia para un desarrollo sostenible. Hay importantes inversiones en salud y educación para mejorar el capital humano, pero se intensifica también la explotación de combustibles fósiles, lo que repercute en el crecimiento económico acelerado. Mientras hay un cambio y preocupación por impactos ambientales locales, no se atienden con grandes esfuerzos los impactos globales. La fecundidad disminuye en países de bajos ingresos, pero es alta en países de ingresos altos debido al alza del crecimiento económico. La despreocupación general en temas ambientales genera grandes retos de mitigación.

## B3. Futuros naturales IPBES

En 2017, el grupo de expertos en escenarios y modelos inicia un proceso multiescalar de construcción de escenarios con base en las relaciones positivas del hombre con la naturaleza, hasta consolidar siete visiones del futuro que abarcan todos los sectores de la sociedad (Lundquist et al., 2021). Los escenarios, al ser de carácter global, son arquetipos y a partir de ellos es posible construir escenarios locales y nacionales que comparten elementos con los arquetipos y que responden a los retos y necesidades de estos niveles (Pereira et al., 2020). Estas siete visiones coinciden en ser positivas y deseables, pero es importante tener una división clara y consistente entre cada una de ellas, por lo que Pereira et al. (2020) resumen estas perspectivas en tres escenarios: naturaleza para la naturaleza, naturaleza para la sociedad, naturaleza como cultura.

**NATURALEZA PARA LA NATURALEZA.** Considera el valor de la naturaleza por sí misma y la preservación de su diversidad y función.

**NATURALEZA PARA LA SOCIEDAD.** Se valora la naturaleza por los usos y beneficios que se obtienen de ella.

**NATURALEZA COMO CULTURA.** Se prioriza una relación recíproca personas-naturaleza y las personas son percibidas como parte integral de esta.

Estas tres perspectivas constituyen las puntas de un triángulo y son los puntos de referencia para identificar cómo se representan los valores de la naturaleza en un sitio. Esta propuesta fue diseñada para ser multiescalar y para delimitar la integración de diferentes disciplinas y visiones. Es un marco muy reciente, pero se espera que por medio de su aplicación se puedan identificar motores de cambio compartidos en diferentes lugares.

# Referencias

- Burkhard, B., & Müller, F. (2008). Indicating human-environmental system properties: Case study northern Fenno-Scandinavian reindeer herding. *Ecological Indicators*, 8(6), 828-840. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.06.003>
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ..., & Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework. Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- González-M, R., Avella, A., Díaz-Triana, J. (2015). Plataformas de monitoreo para vegetación: toma y análisis de datos. En Aguilar-Garavito, M. & Ramírez, W (Eds.), *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres*. Instituto Humboldt.
- Heip, C., Herman, P. & Soetaert, K. (1998). Indices of diversity and evenness. *Oceanis*, 24(4), 61-87.
- IPBES - Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (2023). Highlighted Indicators. Febrero. <https://ipbes.net/highlighted-indicators-0>
- Lundquist, C., Hashimoto, S., Denboba, M. A., Peterson, G., Pereira, L., & Armenteras, D. (2021). Operationalizing the nature futures framework to catalyze the development of nature-future scenarios. *Sustainability Science*, 16(6), 1773-1775. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01014-w>
- Montes, C., & Sala, O. (2007). La evaluación de los ecosistemas del milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas*, 16(3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/120>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (vol. 1). Manuales y Tesis SEA.
- Nassl, M., & Löffler, J. (2015). Ecosystem services in coupled social-ecological systems: Closing the cycle of service provision and societal feedback. *Ambio*, 44(8), 737-749. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0651-y>
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., ..., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- ONU (Ed.) (2019). *Global environment outlook. GEO-6: Healthy planet, healthy people*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>
- Pereira, L. M., Davies, K. K., Belder, E., Ferrier, S., Karlsson-Vinkhuyzen, S., Kim, H., ..., & Lundquist, C. J. (2020). Developing multiscale and integrative nature-people scenarios using the nature futures framework. *People and Nature*, 2(4), 1172-1195. <https://doi.org/10.1002/pan3.10146>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capristano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., ..., & Zurek, M. B. (2005). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* [Informe de Síntesis, Borrador final, Millennium Ecosystem Assessment]. <http://millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>

Ruckelshaus, M. H., Jackson, S. T., Mooney, H. A., Jacobs, K. L., Kassam, K.-A. S., Arroyo, M. T. K., ..., & Ouyang, Z. (2020). The IPBES global assessment: Pathways to action. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(5), 407-414.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.01.009>

SER - Society for Ecological Restoration International, Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Políticas. (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. [https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER\\_Primer/ser-primer-spanish.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf)

Sparks, T. H., Butchart, S. H. M., Balmford, A., Bennun, L., Stanwell-Smith, D., Walpole, M., ..., & Green, R. E. (2011). Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. *Oryx*, 45(3), 411-419. <https://doi.org/10.1017/S003060531100024X>





Fotografia: John Bernal, Instituto Humboldt.

# Visualización e interpretación de resultados del monitoreo y evaluación de biodiversidad

---

María Helena Olaya-Rodríguez<sup>1</sup>, Lina María Sánchez-Clavijo<sup>1</sup>, Carolina Soto-Vargas<sup>1</sup>,  
Julián Díaz-Timoté<sup>2</sup>, Daniel Fernando López-Lozano<sup>3</sup>, César Gutiérrez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Humboldt.

<sup>2</sup> Universidad del Rosario.

<sup>3</sup> American Museum of Natural History.

# 8.1. Introducción

La visualización e interpretación de los resultados del monitoreo son el último paso en la etapa de implementación y permiten, junto a los procesos transversales, cerrar cada iteración del ciclo de monitoreo para empezar una nueva. En este paso se le agrega valor a la información producida en los pasos de análisis y modelamiento (Capítulo 6), e indicadores y escenarios (Capítulo 7), para convertirla en conocimiento a la luz del contexto socioecológico en el que se generó el proyecto de monitoreo o evaluación. El objetivo de este paso es visualizar y transmitir los resultados del proceso de forma intuitiva y útil para los diferentes usuarios e interesados, lo que permite que cada audiencia entienda lo pertinentes que son los resultados respecto a las necesidades de información identificadas en el primer paso (Capítulo 2). En este capítulo se enfatiza en ser transparentes en cuanto a la calidad de los datos recolectados, los métodos utilizados, el alcance real de la información producida, sus limitaciones, sensibilidad e incertidumbre. Igualmente, se describe la oferta y selección de herramientas y formatos que permiten consolidar la visualización e interpretación de la información producto de los ejercicios de monitoreo y evaluación de biodiversidad.

El volumen de información que se genera luego de los procesos de análisis, modelamiento y construcción de indicadores y escenarios puede llegar a ser abrumador. Todos los resultados tienen un gran valor, pero es importante que, una vez se tenga la información a la mano, se recuerde con claridad la pregunta de investigación u objetivo de gestión que orientó el diseño de la estrategia de monitoreo para empezar a explorar diferentes formas de visualizar los resultados. Esta pregunta u objetivo es el hilo conductor transversal en todas las fases del proceso y, a su vez, debe ser la guía para construir la historia que finalmente se quiere contar a medida que avanza la implementación. Este paso de “construir y contar la historia” de los resultados (sean parciales o finales) es una parte clave del monitoreo adaptativo, ya que, según los objetivos del proyecto, los resultados de este paso podrían indicar que la historia aún no está completa y sugerir que el monitoreo deberá seguir como va o indicar que la historia ya está completa y que, por lo tanto, el proyecto debe terminar o evolucionar hacia nuevas preguntas y objetivos, dependiendo de su estrategia de sostenibilidad (Capítulo 11). Así mismo, la visualización e interpretación de los datos puede alimentar la consolidación de los mensajes clave que se planteen en la estrategia de comunicación (Capítulo 10). Es importante entonces que exista una articulación con este proceso transversal para potenciar aún más los mensajes y ampliar el rango de divulgación entre los usuarios que se relacionan con los proyectos de monitoreo.

Es usual pensar que toda la información producida en una investigación científica debe ser presentada. Sin embargo, para asegurar la comunicación exitosa de los resultados de una investigación es vital hacer un ejercicio de síntesis y edición

de los resultados, guiado tanto por la pregunta o el objetivo de la investigación como por la audiencia a la cual se le está hablando. Para ello es importante tener muy claro los públicos objetivo identificados en la estrategia de comunicación (Capítulo 10). En un ejercicio de monitoreo y evaluación de biodiversidad, la fase de visualización e interpretación de la información es un momento sumamente importante para reflexionar sobre los mensajes y a quiénes se le están haciendo llegar. Acertar o no en esta tarea puede afectar la continuidad del monitoreo respecto a su financiación, su incidencia social o política, o incidir en la motivación para que los aliados y colaboradores continúen aportando al proceso.

Cuando se logran sintetizar de manera asertiva los resultados de los análisis e indicadores sobre el estado adverso de una especie o sobre una tendencia negativa en la trayectoria de un ecosistema, se incrementa la probabilidad de que el mensaje llegue de forma clara y contundente a aquellos actores que pueden ejercer acciones para atender estas alertas tempranas y así prevenir la pérdida de la especie o el deterioro del ecosistema. Al contrario, un ejercicio de visualización de datos que resulte en muchos gráficos, tablas o texto que hagan más densa y, por lo tanto, más difícil de interpretar la información que se quiere transmitir puede desembocar en que los usuarios pierdan el interés en el proyecto y no sientan ningún tipo de conexión con el mismo, lo cual disminuye la probabilidad de que se tomen acciones para prevenir la pérdida de especies, funciones o ecosistemas vitales para la configuración de los territorios.

Para optimizar los resultados de este paso, es muy importante que se construyan de manera transdisciplinaria. Incluir los aportes del diseño gráfico y la ingeniería de sistemas ha sido un complemento invaluable para la evolución de la visualización y síntesis de datos, no solo porque ha mejorado las herramientas de visualización a través del manejo del color, la forma y la presentación de la información en general, sino porque también aporta a la discusión sobre lo que realmente se quiere mostrar, el mensaje que se quiere comunicar y la audiencia que se quiere alcanzar. Estas conversaciones permiten identificar con mayor claridad los alcances de la visualización e interpretación de la información y hacen que la intervención de profesionales de estas disciplinas en este paso del ciclo de monitoreo sea esencial para asegurar su éxito. Después de conformar un equipo interdisciplinario para la visualización de datos, se debe tomar la información que proviene de los pasos anteriores y responder tres preguntas: qué se quiere mostrar, a quién se quiere mostrar y cómo se quiere mostrar. Una vez se resuelvan estas preguntas, cada profesional o equipo podrá aportar desde su disciplina los conceptos o herramientas que permitan visualizar e interpretar la información de manera clara y concisa (Figura 8.1).

Dado que el monitoreo es intrínsecamente un ejercicio que debe permitir detectar los cambios de un objeto a través del tiempo, las variables que predominan a la hora de visualizar los resultados son temporales, relacionadas con fechas, épocas, estaciones, temporadas, edades, períodos, etc. (Figura 8.2), razón por la cual existen herramientas y recursos para representar dichos cambios.

Figura 8.1.

Esquema de trabajo inter y transdisciplinario para visualizar información de monitoreo de biodiversidad\*

\*En este caso, se usa una interfaz de usuario en línea. *Front-end*: capa de presentación de una aplicación web con la que interactúa el usuario final; *Back-end*: capa lógica de una aplicación web encargada del procesamiento y la consulta de los datos; UI: interfaz de usuario o vista con la que el usuario se comunicará con la aplicación; UX: experiencia del usuario, al utilizar la aplicación por medio de la UI.

Información proveniente de los análisis y modelamiento y los indicadores

¿Qué se quiere mostrar?  
¿A quién se quiere mostrar?  
¿Cómo se quiere mostrar?

**Diseño gráfico:**

- Línea visual
- Síntesis de info.
- *Front-end*

**Ingeniería de sistemas:**

- Tecnologías
- Bases de datos
- *Back-end*
- *Front-end*

**Analistas de datos:**

- Origen de la info.
- Interpretación de la info

UI - UX

Productos de visualización

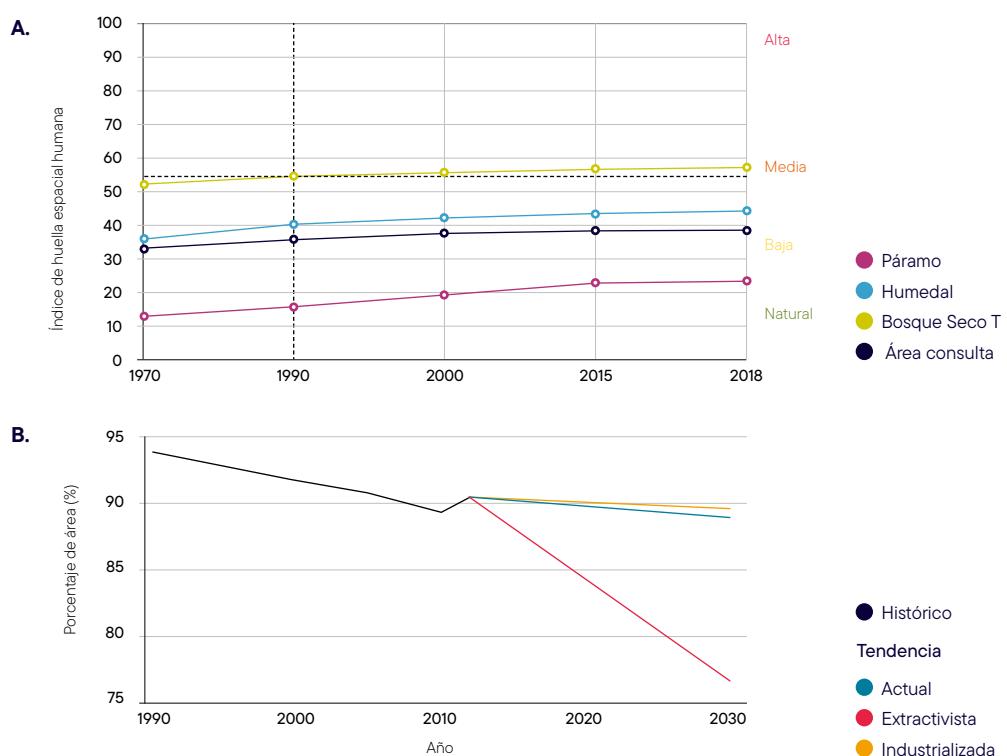
Figura 8.2.

Formatos para visualizar resultados de monitoreo

**A.** Cambio histórico del valor del índice de huella espacial humana en los ecosistemas estratégicos del departamento de Antioquia (BioTablero: Instituto Humboldt, s.f.-a);

**B.** Cambios históricos y predichos a futuro en el porcentaje de hábitat boscoso disponible para la especie *Zamia amazonum*.

Fuente: BioModelos (Instituto Humboldt, s.f.).



Es muy importante tener en cuenta las capacidades técnicas y el acceso a tecnologías que tienen los públicos a los cuales se les va a presentar la información, pues de esta forma se puede direccionar la construcción y optimización de los formatos para presentar los resultados del monitoreo a mediano y largo plazo. Por ejemplo, si se busca presentar la información para que sea consumida de manera rápida, se puede pensar que el medio digital es el más adecuado, pero si el objetivo es presentar la información a comunidades rurales con poco acceso a tecnología o internet, puede ser mejor visualizar la información en formatos físicos. En estas presentaciones, debe primar la selección de información útil e importante para las comunidades, así como la optimización del espacio para formatos como afiches o libros pequeños en los que mejor se condensan los mensajes que se quiere transmitir.

## 8.2. Visualización de datos, análisis y resultados

En términos generales, la visualización de datos hace referencia a la representación de datos en formato gráfico. Pueden ser *datos crudos* de monitoreo, como observaciones de especies en campo; productos de *análisis* cuantitativos, como estimación de la riqueza de especies en un área; o *resultados* de procesos que involucran varios tipos de análisis, como escenarios de cambio en la distribución del hábitat de una especie.

Los ejercicios de visualización y síntesis de la información en la ciencia están enfocados en la publicación a través de medios tradicionales, como artículos científicos pensados para la impresión en papel o digital, y están basados principalmente en los resultados de los ejercicios estadísticos, asociados especialmente con tablas y gráficas descriptivas, como histogramas, gráficos de líneas, áreas o barras, etc. Con la mejora de los métodos estadísticos asociada a la evolución de la capacidad computacional en los últimos cuarenta años, los científicos han desarrollado nuevas formas de analizar los resultados y han enriquecido las herramientas de visualización de datos mediante nuevos tipos de gráficos, diagramas de flujo, mapas, nubes de palabras, etc. Estos nuevos formatos y herramientas han permitido expandir el formato de la visualización de datos de lo impreso a lo digital, abarcando también sitios web y libros digitales (Knaflc, 2015).

En lenguajes de programación como R y Python se han desarrollado herramientas que apoyan la construcción de gráficos y de otros recursos para la visualización de datos

científicos. En el caso de R, la librería *ggplot2* (Wickham, 2016) se ha convertido en una herramienta muy poderosa para que los científicos de datos pongan a prueba su creatividad a la hora de generar gráficas para sintetizar los resultados de distintos tipos de análisis. En el lenguaje de programación Python también se encuentra la librería *ggplot2*, así como otras empleadas en la visualización de datos, como el paquete *pandas* (McKinney, 2010), *seaborn* (Waskom, 2021) o *matplotlib* (Hunter, 2007).

La forma de consumir la información también ha tenido un cambio fundamental en las últimas décadas: se ha hecho más rápida y el público se ha acostumbrado a leer con inmediatez. Esto permitió que nuevos formatos emergentes, como infografías y multimedia, se volvieran más comunes, haciendo aún más importante que la información pase por un proceso de síntesis y traducción que la haga más accesible al consumidor final. En la conceptualización de la visualización se debe tener en cuenta lo esencial que se quiere mostrar y quién lo va a leer, y construirlo con un lenguaje acorde a dicho público, sin tener miedo a dejar información complementaria por fuera, pero enfocándose en transmitir correctamente las respuestas a esas preguntas rápidas.

La selección de formatos impresos o digitales debe estar fundamentada en los objetivos y objetos de monitoreo, los públicos objetivo o usuarios de la información (teniendo en cuenta sus niveles de lectoescritura y acceso a internet) y la historia o narrativa construida por el equipo de trabajo del proyecto (resultados de análisis y construcción de indicadores). Estos elementos pueden interactuar entre sí de diferentes maneras y trabajarse en un mismo formato para dos usuarios distintos, en cuyo caso lo que debe variar es el contenido o la narrativa. En los ejercicios de monitoreo comunitario, es de vital importancia contar con la participación de la comunidad para evaluar la pertinencia de las herramientas de acuerdo con su contexto particular (Capítulo 10). A continuación, se presentan algunas herramientas clasificadas para medios impresos y digitales.

## 8.2.1. Herramientas para formatos impresos

Este tipo de herramientas o recursos son, por ejemplo, artículos científicos, libros, cartillas, afiches, etc., y están pensados principalmente para la visualización de la información a través de medios físicos, analógicos o no digitales. Están muy relacionadas con los recursos gráficos que se han desarrollado en el contexto de la estadística, que tradicionalmente enfatiza mucho en minimizar la “cantidad de tinta” utilizada para comunicar los resultados de los análisis en gráficas y tablas. Aunque esto evitaba el sobreuso de gráficas en 3D, colores y adornos innecesarios, estaba muy sesgado a los medios impresos y a las revistas, que cobraban extra por las figuras en color. Hoy en día la mayoría de la

información se maneja en formato digital y se valora mucho más la estética, no solo para llamar la atención de los lectores, sino para aumentar la recordación de los mensajes que se están transmitiendo.

Se debe encontrar entonces un equilibrio entre el componente técnico y el estético para que los lectores entiendan la información lo más rápidamente posible y, así mismo, recuerden el mensaje principal (Wilke, 2019; Midway, 2020). Para esto existen recursos como Data to Viz (From Data to Viz, s.f.), una página con una guía de los diferentes tipos de gráficos y el tipo de información que estos se enfocan en presentar. También existen herramientas como Storytelling with Data (s.f.) para saber qué se debe tener en cuenta al momento de elegir la visualización; Help me Viz (Policy Viz, s.f.) para someter un ejercicio de visualización de datos a una revisión por pares y Viz Wiz (s.f.) para consultar ejemplos claros de visualización de datos.

El tipo de gráficas más comunes para mostrar cambios de un objeto o sus variables asociadas son aquellas con los dos ejes ( $x, y$ ), donde el tiempo, ya sea en días, meses, años etc., se suele ubicar en el eje  $x$ , por ser la variable independiente (gráficos de barras agrupadas, histogramas, gráficas de dispersión, regresiones logísticas, diagramas de caja, mapas de calor o diagramas de densidad). Aunque una tabla puede mostrar información alfanumérica valiosa para dar a conocer los resultados de un proyecto de monitoreo, es importante evaluar si se puede ajustar más a figuras como gráficas o barras que, con un buen diseño (selección de tamaño, color, textos, etc.), puedan cumplir mejor la tarea de brindar la información necesaria al lector o a la audiencia de forma fácil y rápida (Figura 8.3).



Figura 8.3.

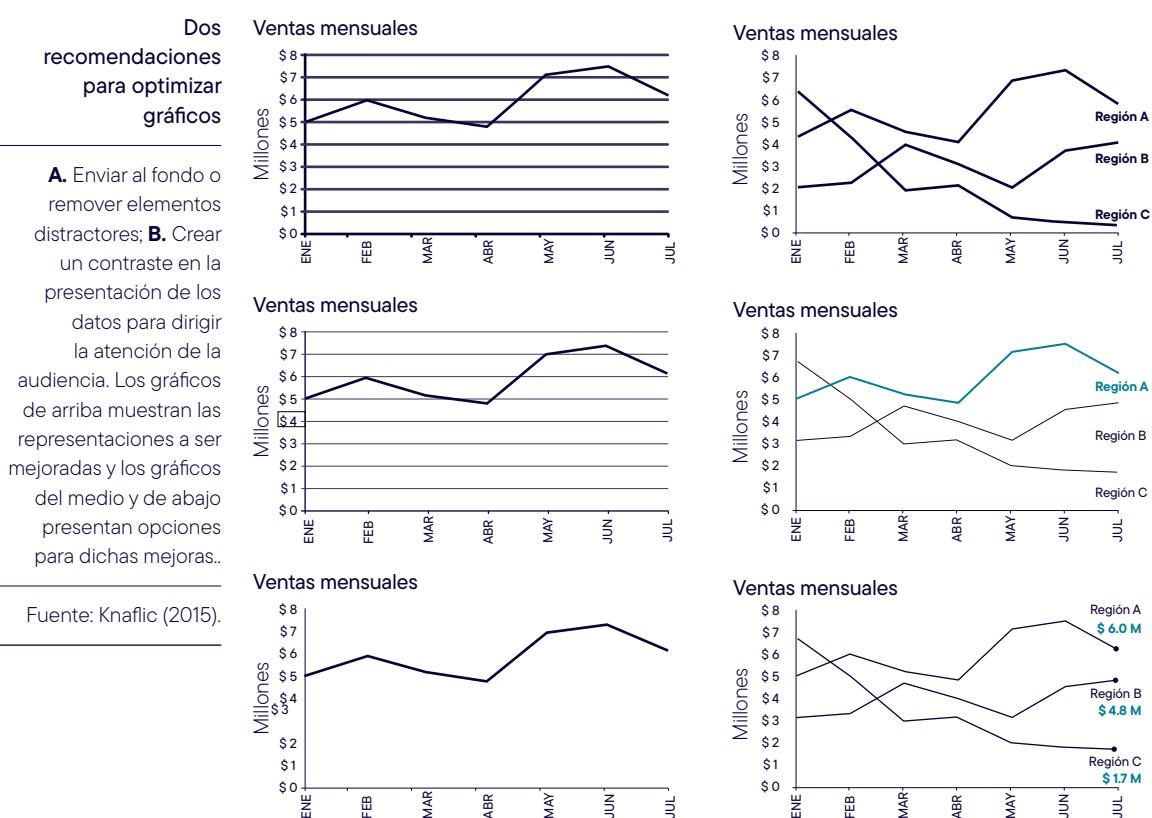
Gráficas comunes para visualizar información de alta recordación

Fuente: Boost Labs (2019).

En términos generales, se ha dicho que una tabla interactúa principalmente con nuestro sistema verbal, por lo cual, cuando tenemos una en frente, la leemos examinando y comparando los valores que aparecen en las filas y las columnas. Las tablas son ideales cuando se tiene una audiencia que quiere hacer precisamente eso o cuando hay un público diverso, donde cada quien quiere mirar su propio dato de interés. Las tablas también son útiles cuando se tienen muchas unidades de medida diferentes, lo que puede ser difícil de poner en un gráfico (Knafllic, 2015).

Por su parte, los gráficos interactúan con nuestro sistema visual, por lo cual pueden ser muy poderosos para presentar una inmensa cantidad de datos de forma rápida y fácil de consumir; y son particularmente útiles cuando hay un punto a destacar en la forma de los datos o para mostrar cómo las diferentes cosas (variables) se relacionan entre sí (Knafllic, 2015). Es importante tener en cuenta que el diseño de una gráfica debe tener unos componentes básicos: ejes claros con sus unidades y nombres, título y leyenda. Por lo general, se recomienda fondo blanco y que no contenga elementos en tres dimensiones. Adicionalmente, Knafllic (2015) hace dos recomendaciones para optimizar los gráficos: evitar al máximo elementos distractores enviándolos al fondo o eliminándolos por completo, y enfocar la atención para dirigir la mirada de la audiencia; esto se puede hacer creando contrastes sutiles en el color de los elementos que se quieren destacar (Figura 8.4).

Figura 8.4.



## 8.2.2. Herramientas para formatos digitales

Las herramientas digitales agrupan el desarrollo de sitios web, libros digitales, infografías, piezas gráficas, videos o toda aquella herramienta en la que se dé la visualización de los datos a través de un medio digital. Estas herramientas han tomado gran importancia recientemente con el aumento del uso de los computadores, dispositivos móviles y, en general, del acceso a internet. A diferencia de las herramientas análogas, las herramientas digitales se centran mucho más en las figuras, su colores, tamaño, forma y nivel de creatividad para retener la atención del usuario y hacerle llegar rápidamente el mensaje a través de la interacción con una página de internet. Así mismo, no se limita al uso de gráficas o tablas, sino que incluye muchos más recursos, como fotografías, diferentes estilos de infografías, mapas, nubes de palabras y material audiovisual, como videos, formato de intercambio de gráficos (GIF), etc. Es importante resaltar que estas herramientas deben estar acompañadas de textos que expliquen de dónde viene la información, sus alcances y limitaciones, y cómo se la debe interpretar de forma correcta.

Se han desarrollado algunas librerías o paquetes para ciertos lenguajes de programación enfocados específicamente en apoyar los ejercicios de visualización de datos y, así mismo, su publicación a través de internet. Algunos ejemplos son el paquete Shiny (Chang et al., 2017) para el lenguaje de programación R y Wiz (Balzer et al., 2020) para Python. Varias iniciativas a nivel mundial y nacional han comenzado a facilitar el acceso a datos e información de biodiversidad, reuniendo estos resultados en portales robustos dispuestos para uso del público. Algunos ejemplos a nivel global son: el tablero de indicadores de biodiversidad de NatureServe (s.f.), el tablero de estrategias para la biodiversidad de la Unión Europea (European Commission, s.f.) y el tablero del consorcio de indicadores de biodiversidad (Biodiversity Indicators Partnership - BIP, s.f.) (Han et al., 2014).

## Módulo de monitoreo comunitario en BioTablero

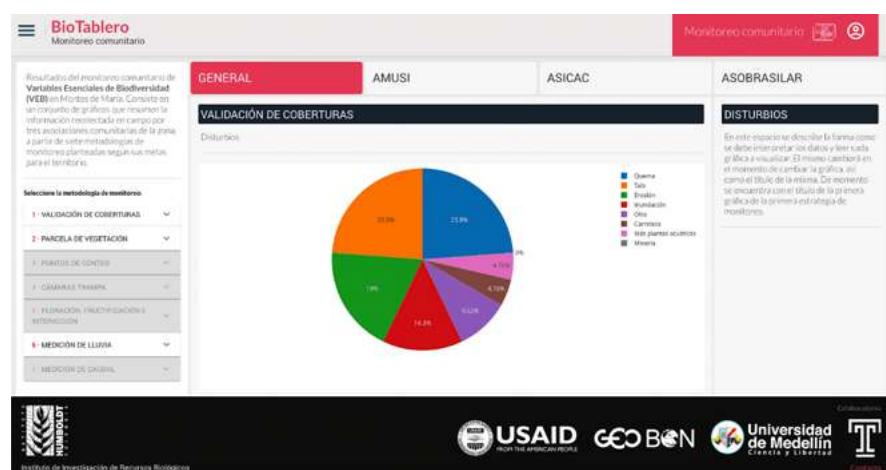
BioTablero del Instituto Humboldt (s.f.-a) es un ejemplo de herramienta digital para la visualización de datos de monitoreo donde se pueden consultar cifras e indicadores sobre biodiversidad en diferentes módulos que brindan contextos específicos para dar soporte a la toma de decisiones ambientales. Uno de estos módulos (Instituto Humboldt, s.f.-c) surgió como una iniciativa para compartir los resultados del monitoreo comunitario de variables esenciales de biodiversidad (VEB) en la región de Montes de María. Consiste en un conjunto de gráficos que resumen la información recolectada en campo por tres asociaciones comunitarias de la zona, a partir de siete protocolos de monitoreo planteados con base en las preguntas de investigación generadas por los actores locales.

Esta herramienta busca poner a disposición de las comunidades los resultados de la recolección de información que realizan en

campo, por medio de gráficos que agregan y sintetizan los datos que van obteniendo en el tiempo. Tres asociaciones comunitarias de agricultores, mujeres y hombres, habitantes del bosque seco tropical y víctimas del conflicto armado del departamento de Bolívar son los encargados de suministrar y mantener actualizados los datos para dicho módulo, con el objetivo de informar sobre las acciones de conservación de este ecosistema altamente amenazado, como lo es el bosque seco tropical. Facilitar el acceso a sus propios resultados, sumado al cumplimiento en la toma de datos en la periodicidad establecida en este esquema de monitoreo comunitario, mantiene el compromiso y sentido de pertenencia de la comunidad con su proceso de monitoreo, al tiempo que permite un acceso inmediato a los financiadores e investigadores del proyecto, quienes pueden evaluar los resultados de las metodologías propuestas con la comunidad.

**Figura 8.5.**

Aspecto del módulo de monitoreo comunitario en BioTablero.



## 8.3. Herramientas para hacer disponibles y abiertos los datos de monitoreo

La creación de herramientas web para la disposición y visualización de datos de monitoreo se ha vuelto más común debido al auge de tecnologías que permiten la captura de datos desde todo tipo de dispositivos en tiempo real (internet de las cosas - IoT), acceso a sensores remotos, generación de grandes volúmenes de datos (*Big Data*) a partir de los anteriores, y lenguajes de programación con herramientas que se enfocan cada vez más en la visualización e interacción con los datos (Ali et al., 2016; Po et al., 2020). La disponibilidad de este tipo de tecnologías ha permitido el desarrollo de herramientas, como plataformas y sitios web, que de forma automática desarrollan flujos de trabajo completos desde la obtención de los datos primarios, pasando por su procesamiento y finalmente su visualización.

Igualmente, estas herramientas permiten en la mayoría de los casos disponer los datos sin restricciones para su posterior uso o descarga como datos abiertos. Los datos abiertos permiten aumentar el volumen de información sobre la biodiversidad e involucran a la ciudadanía en la construcción de políticas públicas. Esto también facilita el acceso a la información, así como su uso libre, y genera ciudadanos más receptivos y centrados en temas de biodiversidad (Muente & Serale, 2018). Como se ha mencionado en las secciones anteriores, existen varias herramientas que permiten a los usuarios acceder a los datos y generar nueva información.

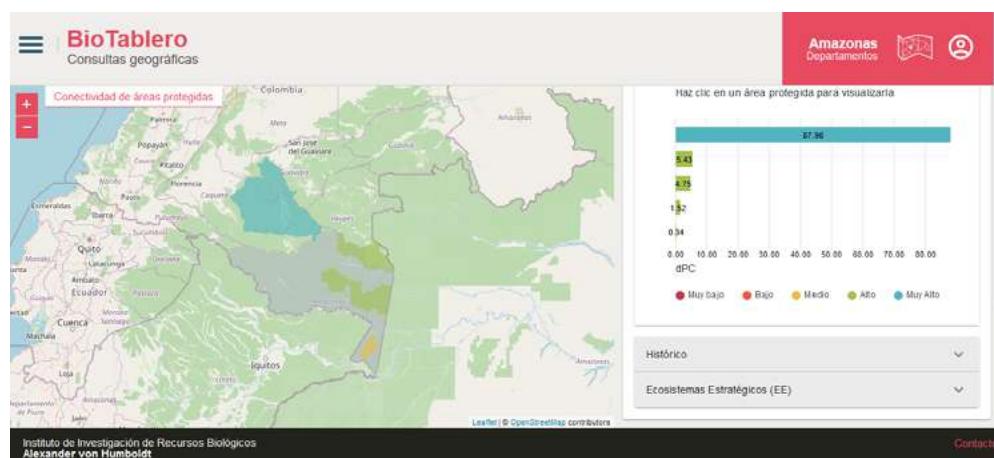
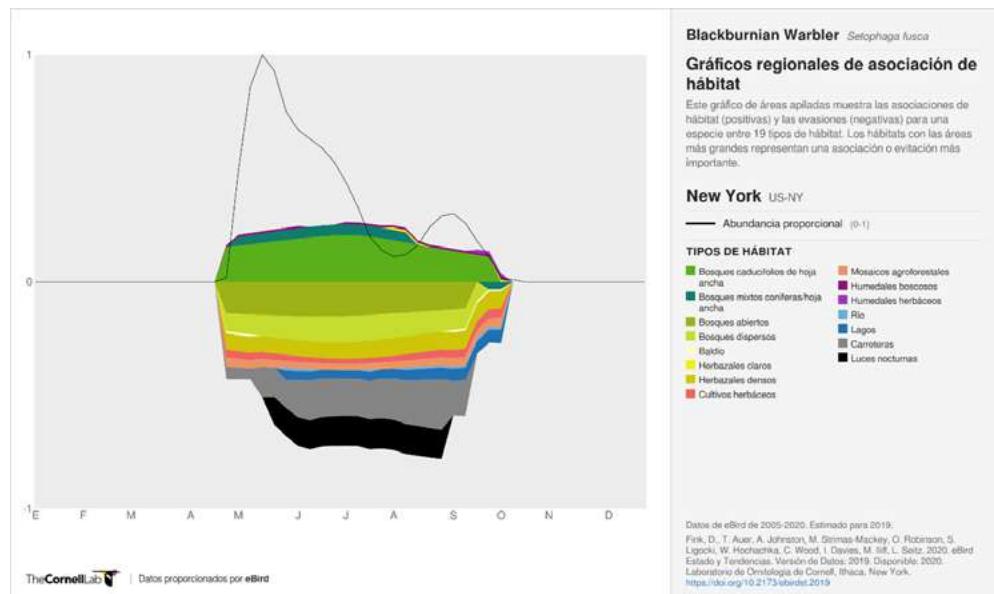
Las plataformas y sitios web tienen la virtud de poder presentar a los usuarios información actualizada y, en muchas ocasiones, en tiempo real, de manera sintetizada y con un alto grado de interacción que permite dar respuesta a diferentes preguntas con pocos clics. La mayoría de las herramientas web también cuentan con dos componentes: espacial y gráfico. El componente espacial permite visualizar tanto los datos crudos como los que son resultado de los análisis en un visor geográfico interactivo. El componente gráfico presenta cifras, gráficos estadísticos, tablas, entre otros. El complemento de estos dos componentes facilita la navegación y la interpretación de los resultados por parte de los usuarios finales, por lo que es importante que el diseño de la experiencia (UX) y la interfaz de usuario (UI) apunten a un resultado intuitivo, sencillo y que dé respuesta rápida a las interacciones (Figura 8.6).

Para la planeación, desarrollo e implementación de una de estas herramientas es importante analizar temas como mantenimiento a largo plazo e infraestructura necesaria, crecimiento proyectado en cuanto a datos y usuarios, interoperabilidad

Figura 8.6.

Sitios web para disponer datos de monitoreo de manera libre y abierta

**A.** Gráficos regionales de asociación de hábitat de eBird para la especie *Setophaga fusca* (eBird, s.f.); **B.** Aporte de las áreas protegidas a la conectividad para el departamento del Amazonas del módulo de consultas geográficas en BioTablero (Instituto Humboldt, s.f.-b.).



desde y hacia otras plataformas y servicios, y periodicidad de actualización de los datos y la información. Esto ayudará a que no se convierta en una plataforma que quede abandonada o desactualizada en poco tiempo, uno de los grandes desafíos actuales en la generación de este tipo de salidas de información.

Un ejemplo de estas herramientas puede ser Wildlife Insights, que permite acceder a información relacionada con la vida silvestre en tiempo casi real y que diferentes públicos puedan contribuir con información que se captura a partir de imágenes o videos de cámaras trampa principalmente. Una vez subida la información (a partir de estándares determinados que llevan a una mejor organización de los datos), algoritmos de inteligencia artificial clasifican las especies (etiquetan) que se observan en las imágenes; asimismo, es posible conocer la ubicación de esta información a nivel espacial y de este modo hacer análisis más específicos que den lugar a información rápida y veraz (Wildlife Insights, s.f.).

La sección de estado y tendencias de las páginas de ciencia de eBird es un buen ejemplo del potencial que tienen animaciones o videos para mostrar procesos espacial y temporalmente explícitos de una forma clara. Los modelos en los cuales se basan estos productos son sumamente complejos, pero la visualización deja que los visitantes vean el cambio en las distribuciones de las especies de aves migratorias semana a semana de forma intuitiva sin necesidad de leer sobre la metodología, aunque está disponible para aquellos que así lo deseen<sup>1</sup>.

## 8.4. Conclusiones y retos

La visualización de datos, resultados y análisis, así como su interpretación, es una nueva área del conocimiento de gran importancia para conectar las preguntas de investigación con la comunicación de la ciencia. En un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad, es el paso conector entre los últimos y los primeros pasos, que permite “cerrar el ciclo”. Su desarrollo está directamente relacionado con la inter y trasndisciplinariedad y con la creatividad para transformar las herramientas que tradicionalmente se venían manejando en la ciencia para divulgar y comunicar los resultados de investigaciones con herramientas mejor adaptadas para llegar a un mayor número y diversidad de personas. En este campo, la innovación, la apertura a nuevos lenguajes y la diversidad de herramientas son claves para cumplir y sostener los proyectos de monitoreo y, por eso, la incursión del diseño gráfico, el arte, la ingeniería de sistemas, la ingeniería industrial y otras disciplinas es esencial para avanzar en estos objetivos.

La disposición de la información, ya sea en formatos impresos o digitales, no solo debe ser atractiva para el público objetivo, sino también reflejar todas las posibles connotaciones en su interpretación (incertidumbre, limitaciones y alcances) para poder asegurar la entrega de los mensajes o las respuestas a las preguntas que se propusieron durante el planteamiento del proyecto de monitoreo (Tabla 8.1). Una gran ventaja de las herramientas digitales es que facilitan ir más allá de la visualización, al permitir la interacción de los usuarios con la información, para que ellos mismos adapten el reporte de los resultados a sus necesidades. Sin embargo, para algunos contextos este medio no es el ideal, dadas las posibilidades de acceso a la información que puedan tener los públicos objetivo del proyecto de monitoreo.

En el caso de Colombia y otros países de Latinoamérica, existe una gran brecha de acceso tecnológico entre los habitantes urbanos y rurales, y de los 1123 municipios de Colombia, solo 38 concentran el 80 % de suscripciones a internet fijo (MinTic, 2019); por lo tanto, es fundamental tener claros los públicos objetivo, con el fin de que se escojan las herramientas apropiadas para visibilizar los resultados del monitoreo (Capítulo

---

1. Ver las herramientas en: eBird (s.f.); Global Forest Watch (s.f.); terra-i (s.f.); Time to Herd (s.f.).

**Tabla 8.1.**

Términos y condiciones de la plataforma BioModelos	A. Limitaciones en la responsabilidad	B. Consideraciones
<p><b>A.</b> Numeral 7 de los términos y condiciones de la plataforma BioModelos (Instituto Humboldt, s.f.), donde se especifican las limitaciones en la responsabilidad del uso de la información publicada sobre distribución de especies;</p> <p><b>B.</b> Consideraciones que deben tener los usuarios de BioTablero al usar la información sobre el indicador de número de especies.</p>	<p>El Instituto Alexander von Humboldt, sus socios, cualquiera de sus respectivos empleados, proveedores de contenido de terceros o licenciantes no garantizan que el acceso y uso de BioModelos estará libre de interrupciones o libre de errores, así como, que cualquier información estará libre de virus u otros componentes dañinos. Igualmente no se otorgan garantías en relación con los resultados que se pueden obtener del uso de la información de BioModelos o de la exactitud, confiabilidad o contenido de cualquier información o servicio proporcionado a través de BioModelos.</p> <p>BioModelos es un espacio para la discusión y evaluación científica de modelos de distribución geográfica de especies. En este sentido, la información descargable representa hipótesis de la probable distribución geográfica de las especies y productos derivados de esas hipótesis, que si bien pueden contener errores y sesgos asociados a los datos y el modelamiento estadístico, hace un esfuerzo por disminuir el impacto de dichos factores al incorporar el conocimiento experto para producir mapas validados.</p> <p>La información que está disponible en BioModelos no es información oficial para Colombia y por tal motivo su uso lo debe realizar bajo su propia responsabilidad. El Instituto Alexander von Humboldt, los patrocinadores de BioModelos y demás colaboradores no garantizan que los resultados derivados de usar la información descargada cumplan con sus requerimientos particulares.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» La riqueza puede ser utilizada como un indicador del estado de la biodiversidad del área consultada siempre y cuando se acompañe de información sobre la identidad y estado de las especies presentes. Un valor alto de riqueza no necesariamente indica un buen estado de conservación. Se recomienda leer este indicador en conjunto con los demás indicadores de las secciones Ecosistemas y Paisajes en BioTablero para identificar un panorama más amplio sobre el estado de la biodiversidad del área de consulta.</li> <li>» El número de especies inferido resulta de la distribución potencial de las especies y se relaciona con su presencia probable en respuesta a las condiciones climáticas. Otras variables como el hábitat o las interacciones bióticas determinan la presencia actual de las especies pero estas no fueron incluidas. Las cifras presentadas deben tomarse como valores potenciales y no absolutos.</li> <li>» Los 5808 modelos representan solo una muestra de las especies existentes en el país, por lo que los valores presentados no reflejan el número real de especies sobre el territorio; estos valores pueden estar sobre o subestimados.</li> </ul>

10). En muchos escenarios las herramientas digitales no serán la mejor opción y deben generarse herramientas complementarias que permitan que la información esté visible y disponible para los públicos objetivo. En este sentido, la visualización de la información hace parte de los procesos de democratización del conocimiento, si se tiene un enfoque incluyente que tenga en cuenta las necesidades de los públicos objetivo y procure presentarse de una manera sencilla que contribuya a su fácil acceso y uso.

Ante el desarrollo continuo de nuevas herramientas de visualización de datos, es importante explorar las que ya existen antes de decidir desarrollar nuevas opciones para no invertir recursos en desarrollar soluciones de software con funcionalidades que posiblemente ya se encuentren disponibles. Con la llegada de los cubos de datos y el *Big Data*, se presentan nuevos retos para la visualización e interpretación de datos, análisis y resultados, pues el volumen y la diversidad de datos con los que se puede trabajar es inmensa y compleja. Uno de estos retos es balancear la precisión técnica y/o rigor científico con que se presentan los resultados con el uso de lenguajes, herramientas, tecnologías e infraestructura que hagan que la información realmente esté disponible para audiencias diversas.

Se debe plantear entonces cómo se puede medir la incidencia de esta entrega de los resultados de un proyecto de monitoreo a la luz de su incidencia en la generación de conocimiento y los procesos de toma de decisiones. Para esto, no sobra recomendar que, si existen emociones o sentimientos que quieran ser compartidos o transmitidos hacia el público, se busque la forma de expresarlos a través de las herramientas de visualización de datos. Es decir, es importante valerse de recursos que de alguna manera generen también sentimientos de empatía, de apropiación y de solidaridad, además del entendimiento racional, la responsabilidad y la ética en la interpretación y el uso de la información sintetizada. Elementos como colores, formas, tipografías, etc., pueden ayudar a cumplir esta tarea también, para fortalecer mensajes que provienen de análisis rigurosos y que, a la vez, también puedan ser entendidos e interiorizados por los usuarios.

Por último, aunque a menudo los procesos de monitoreo arrojan resultados inesperados y valiosos, la interpretación de los mismos debe hacerse siempre a la luz del contexto socioecológico y las necesidades de información identificadas en los primeros pasos del ciclo de monitoreo. Muchas veces los datos crudos permiten realizar nuevos análisis que no se habían considerado en la fase de planeación del proyecto, o los resultados de los análisis arrojan información que no se tenía prevista y que puede cambiar el rumbo del estudio. Es importante que, ante estos casos, se mantenga la línea narrativa que ofrece el objetivo del proyecto de monitoreo a la hora de hacer el ejercicio de visualización de los datos y, también, que la nueva información, de decidirse que va a ser presentada a los usuarios, se articule con la estrategia de comunicación (Capítulo 10), con el fin de mantener su pertinencia para el público objetivo.

# Referencias

- Ali, S. M., Gupta, N., Nayak, G. K., & Lenka, R. K. (2016). *Big data visualization: Tools and challenges* [2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), pp. 656-660]. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7918044>
- Balzer, C., Oktavian, R., Zandi, M., Fairen-Jiménez, D., & Moghadam, P. Z. (2020). Wiz: A web-based tool for interactive visualization of big data. *Patterns*, 1(8), 100107. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2020.100107>
- Boost Labs (2019). *10 types of data visualization made simple (graphs & charts)*. Boost Labs. <https://boostlabs.com/blog/10-types-of-data-visualization-tools/>
- Chang, W., Cheng, J., Allaire, J., Xie, Y., & McPherson, J. (2017). Shiny: Web application framework for R. *R Package Version*, 1(5), 2017.
- eBird (s.f.). Blackburnian Warbler *Setophaga fusca*. <https://science.ebird.org/es-419/status-and-trends/species/bkbwar/abundance-map>
- Han, X., Smyth, R. L., Young, B. E., Brooks, T. M., Sánchez de Lozada, A., Bubb, P., ..., & Turner, W. R. (2014). A biodiversity indicators dashboard: Addressing challenges to monitoring progress towards the Aichi biodiversity targets using disaggregated global data. *Plos One*, 9(11), e112046. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112046>
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment, *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90-95.
- Knafllic, C. N. (2015). *Storytelling with data: A data visualization guide for business professionals*. Wiley.
- McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. *Scipy-2010*, 56-61. <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a>
- Midway, S. R. (2020). Principles of effective data visualization. *Patterns*, 1(9), 100141. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2020.100141>
- MinTic - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2019). Informes del sector-2019. <https://colombiatric.mintic.gov.co/679/w3-multipropertyvalues-36410-85236.html>
- Muente-Kunigami, A., & Serale, F. (2018). *Los datos abiertos en América Latina y el Caribe*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001202>
- Po, L., Bikakis, N., Desimoni, F., & Papastefanatos, G. (2020). *Linked data visualization techniques, tools, and big data*. Morgan & Claypool.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag. <https://ggplot2.tidyverse.org/authors.html#citation>
- Wilke, C. O. (2019). *Fundamentals of data visualization*. Autoedición. <https://clauswilke.com/data-aviz/>

# Herramientas

- BIP - Biodiversity Indicators Partnership (s.f.). <https://www.bipindicators.net/>
- European Commission (s.f.). EU Biodiversity Strategy Dashboard [Actualizado 2023-03-13]. <https://dopa.jrc.ec.europa.eu/kcbd/dashboard/>
- From Data to Viz (s.f.). Caveats [A collection of dataviz caveats]. <https://www.data-to-viz.com/cautions.html>
- Global Forest Watch (s.f.). Mapa. <https://www.globalforestwatch.org/map/>
- Instituto Humboldt (s.f.). BioModelos. [biomodelos.humboldt.org.co](https://biomodelos.humboldt.org.co)
- Instituto Humboldt (s.f.-a). BioTablero. [biotablero.humboldt.org.co](https://biotablero.humboldt.org.co)
- Instituto Humboldt (s.f.-b). BioTablero – Consultas geográficas. [http://biotablero.humboldt.org.co/Consultas?area\\_type=states&area\\_id=91](http://biotablero.humboldt.org.co/Consultas?area_type=states&area_id=91)
- Instituto Humboldt (s.f.-c). BioTablero – Monitoreo comunitario. [biotablero.humboldt.org.co/Monitoreo](http://biotablero.humboldt.org.co/Monitoreo)
- NatureServe (s.f.). Biodiversity Indicators Dashboard. <https://www.natureserve.org/products/biodiversity-indicators-dashboard>
- Policy Viz (s.f.). How it works. <https://policyviz.com/helpmeviz/how-it-works/>
- Story Telling With Data (s.f.). Story telling data. <https://www.storytellingwithdata.com>
- terra-i (s.f.). Virtual workshop on land coverage mapping using remote sensors and open source tools. <http://www.terra-i.org/terra-i.html>
- Time to Herd (s.f.). Colombia. <https://timetoherd.com/country/COL>
- Viz Wiz (s.f.). Harnessing histograms for data analysis in tableau. <https://www.vizwiz.com/>
- Wildlife Insights (s.f.). Explorar datos. <https://app.wildlifeinsights.org/explore>
- Waskom, M. L. (2021). seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>



Fotografía: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Gestión de datos e información

---

Juan Carlos Rey Velasco<sup>1</sup>, Carolina Castro-Moreno<sup>1</sup>, Edwin Tamayo Peña<sup>1,2</sup>, Diego Randolph Pérez Rincón<sup>1</sup>, Julian D. Torres C.<sup>1</sup>, Bryan Steven Ramírez Franco<sup>1,3</sup>, Cristian A. Cruz-Rodríguez<sup>1,4</sup>, Daniel Fernando López-Lozano<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Humboldt; <sup>2</sup> Pendiente;  
<sup>3</sup> Pendiente; <sup>4</sup> Université de Montreal, Canadá; <sup>5</sup> American Museum of Natural History.

# 9.1. Introducción

De forma general, la gestión de datos e información sigue un proceso cíclico que conecta las fases investigativas con los actores e instituciones involucrados en el escenario territorial estudiado a través de seis tareas básicas: a) estado del conocimiento, b) plan y diseño de captura de datos, c) recolección de datos, d) almacenamiento y custodia, e) publicación y f) síntesis y reuso. Para que este procedimiento permita el entendimiento, recolección, análisis, interpretación y síntesis de los hechos y/o fenómenos estudiados se debe considerar la gestión de los datos e información en todas las etapas del desarrollo de los proyectos de monitoreo y evaluación de biodiversidad, incluyendo su articulación al momento de planear y ejecutar las acciones (Costello & Wieczorek, 2014; Figura 9.1).

Cuando esta gestión se planifica y ejecuta bien, los datos de monitoreo pueden proporcionar información confiable para aumentar el conocimiento científico (Green et al., 2005; Turnhout & Boonman, 2011; Chamanara & König, 2014; Navarro et al., 2017; Brörken et al., 2022). La recolección de datos y documentación de metadatos, la digitalización, el control de calidad y su publicación son pasos fundamentales para que los datos compilados por medio del monitoreo de biodiversidad sean utilizados en procesos científicos y, de este modo, este conocimiento pueda escalar en procesos encaminados a la toma de decisiones, basadas en el uso sostenible y la conservación de la biodiversidad (Beaman & Cellinese, 2012; Costello et al., 2013; Chamanara & König, 2014; Brörken et al., 2022). Por este motivo, en este capítulo se consideran buenas prácticas a la hora de recopilar, almacenar y difundir registros producidos durante el monitoreo de biodiversidad, no solo como ayuda para ahorrar tiempo y recursos, sino también para que los proyectos generen los impactos deseados.

La construcción del estado del conocimiento, como primer eslabón de planificación del ciclo de gestión, busca consolidar insumos de información y datos que estén disponibles y den cuenta del estado espacio-temporal del sistema territorial estudiado. Es decir, el primer acercamiento que se obtiene para entender el territorio y sus componentes se realiza integrando fuentes primarias o secundarias que permitan dilucidar la situación y configuración del contexto estudiado, antes de implementar las estrategias de monitoreo (Capítulo 2). Por su parte, el plan y el diseño de captura constituyen una hoja de ruta para orientar las técnicas, instrumentos y protocolos de recolección de datos acordes con las condiciones, limitantes y requerimientos del estudio. Esta planificación debe integrar la estrategia y el muestreo que el proyecto de monitoreo defina (Capítulos 3 y 4).

De acuerdo con el camino metodológico trazado en la fase anterior, se continúa con la recolección y posterior análisis y modelamiento de los datos. Estas actividades constituyen el centro de la investigación, ya que son las que permiten producir nuevos datos y representaciones acerca de la realidad estudiada (Capítulos 5 y 6). Sin embargo, en la gestión, la tarea fundamental consiste en sistematizar y documentar las evidencias a través de bases de datos, metadatos y permisos de acceso que posibiliten administrar (almacenar y custodiar)

Figura 9.1.



los datos de la mejor manera. Como parte de la ejecución, es importante también disponer los recursos necesarios para distribuir los datos entre los actores interesados, para lo cual es preciso pensar en hacer públicos los datos considerando los usuarios, lenguajes, licencias y repositorios más pertinentes. Como se trata de monitoreo de biodiversidad, es indispensable considerar también el escenario y los indicadores que posicionan los datos frente a un estado o momento de interés (Capítulo 7).

Finalmente, para cerrar el ciclo de gestión de datos e información, normalmente se consolidan piezas audiovisuales o documentos síntesis de los datos publicados (Capítulo 8). Con esto se busca incidir en el contexto territorial y propiciar el uso de los datos apropiadamente interpretados en diversas comunidades científicas, políticas y ciudadanas. Todo lo anterior, siguiendo estándares de calidad, buenas prácticas y herramientas que faciliten la gestión eficiente de los datos investigativos. Estos últimos aspectos se profundizan en los siguientes apartados de este capítulo.

## 9.2. Ciclo de gestión y uso de los datos

La versión simplificada del ciclo de gestión y uso de los datos incluye cinco pasos: a) planificación, b) captura y documentación, c) almacenamiento y custodia, d) digitalización, control de calidad y publicación, y finalmente e) síntesis y uso de los datos (Eléspuru, 2017; Figura 9.2). Para implementarlo se considera necesario seguir los siguientes principios:

- » Considerar el requerimiento de los datos (UK Data Service, 2022).
- » Administrar y capacitar a los participantes para obtener mejores datos. Revisión de métodos de colecta, estandarización de las herramientas y formatos que permitan un control en la captura de los datos.
- » Garantizar la calidad de los datos en el desarrollo de todo el proyecto de monitoreo, control de cambios, evitar eliminar información o hacer cambios que afecten la naturaleza de los datos (Beaman y Cellinese, 2012).
- » Aprovechar nuevas tecnologías que permitan mejorar la calidad de los datos, incluidas herramientas de código abierto (Randin et al., 2020).
- » Administrar los datos eficientemente y garantizar su trazabilidad.
- » Reconocer derechos de autor, acceso, uso y sensibilidad de los datos. Si es el caso, establecer desde el inicio las políticas de uso de los datos y los consentimientos informados del uso de los datos, tanto de los participantes como de poblaciones vulnerables (Costello & Wieczorek, 2014; Proença et al., 2017; MacPhail & Colla, 2020).
- » Reportar y poner a disposición los datos. En este punto es clave entender que los discos duros, equipos de cómputo y otros sistemas de almacenamiento cotidianos tienden a ser muy susceptibles a pérdidas o versionamiento (Proença et al., 2017). Si se estableció desde el inicio la liberación de los datos, se debe realizar la publicación lo antes posible. En muchos casos se deja este punto como el último en la gestión, pero la publicación es susceptible de versionamiento y el mejor escenario es publicarlo tan pronto como los datos estén estandarizados y digitalizados.
- » Evaluar para maximizar el valor de los datos. Documentar toda la información capturada, aunque no haya sido proyectada al inicio del proyecto. Todo dato importa; quizás no para responder la pregunta de investigación focal, pero en un proyecto de monitoreo estos datos pueden tener un impacto futuro.

Figura 9.2.

Ciclo simplificado para la gestión y uso de los datos



## 9.3. Planificación

Se establecen todos los flujos de trabajo, protocolos y recursos necesarios para garantizar una buena gestión de los datos, con el objetivo de que su gestión y uso posean los elementos necesarios que permitan la reutilización de la información generada, lo cual es especialmente necesario para el desarrollo de un proyecto de monitoreo a largo plazo (Tenopir et al., 2015; UK Data Service, 2022). En este paso se debe plantear claramente una política de datos, así como un plan de manejo que incluya los pasos a seguir, para asegurar que la información generada se almacene de manera correcta y quede disponible para ser empleada a largo plazo, tanto en el proyecto donde se generó como en otros proyectos. También se definen los formatos y estándares, y cómo se recolectarán y dispondrán los datos que serán obtenidos en el marco de un proyecto.

## 9.3.1. Buenas prácticas y aspectos importantes al planificar la recolección de datos

En cuanto a las buenas prácticas y aspectos importantes al planificar la recolección de datos, hay que considerar:

- » El alcance de los datos a corto, mediano y largo plazo. Durante la planificación para la captura de los datos se debe tener en mente el fin último y usabilidad de los datos.
- » Cuál es el estado del conocimiento. Reconocer antecedentes de información relacionados con el fenómeno de estudio en su contexto espacio-temporal de ocurrencia.
- » Qué tipos de datos se van a recolectar. Determinar las variables que se registrarán para atender los objetivos del proyecto. Esto facilitará la selección de herramientas para la captura de datos.
- » Qué métodos de recolección se implementarán. Metodologías estandarizadas para la observación, muestreo y captura de los datos. Esto permite la replicabilidad y usabilidad a futuro de los datos.
- » Qué herramientas se usarán para capturar los datos y si se usarán herramientas como iNaturalist o eBird o el proyecto estará sujeto a la captura de datos mediante formatos y libretas de campo.
- » Definir y comunicar el rol de los participantes, desde la captura hasta la usabilidad de los datos.
- » Qué sensibilidad pueden tener los datos. Esto se contesta desde dos perspectivas. En primer lugar, la de los involucrados en la toma de los datos o la de las poblaciones donde se realiza esa captura de datos; por lo tanto, hechos considerados estrictamente confidenciales, como edad, procedencia, salud, raza, religión, ideología, filiación, finanzas, etc., son de carácter sensible y requieren de una protección especial. Para ello se debe hacer un proceso de anonimización que tiene como objetivo controlar el riesgo de identificación al que pueden estar sujetas las personas naturales o jurídicas que brindan información para fines estadísticos. Se entiende que la posibilidad de extraer datos a partir de una agregación permite la identificación de la fuente, de manera que la implementación de un proceso adecuado de anonimización evita la posibilidad de dar mal uso a la información desagregada (DANE, 2018). En segundo lugar, hay que tener en cuenta si el dato biológico es considerado sensible, debido a que la especie registrada se encuentra en alguna categoría de amenaza, ha sido incluida dentro de algún apéndice CITES, o es una nueva especie para la ciencia y su información y ubicación no será publicada hasta la finalización de su descripción.

- » La descripción y visibilización de los datos y metadatos deben ser consideradas durante el diseño de un proyecto de monitoreo de la biodiversidad. Los datos obtenidos en el proyecto pueden ser publicados en el marco de iniciativas nacionales, como los sistemas de información ambientales o sobre biodiversidad de cada país, o globales, como la Global Biodiversity Information Facility (GBIF), usando herramientas de publicación de datos como las sugeridas por la Global Biodiversity Information Facility (GBIF, s.f.), que permiten la conexión y visualización de los datos, personas, organizaciones y proyectos (Burkhardt et al., 2014).
- » Cómo se van a visualizar y analizar los datos. Identificar las diferentes herramientas disponibles para la visualización y síntesis de los datos que permitan describir, mediante gráficas simples, el comportamiento de los datos y realizar reportes rápidos y sintéticos de la información. Esto es útil para identificar qué factores están afectando la captura de los datos, tales como eventos climáticos, problemas sociales en la zona, cambios en la logística del proyecto, entre otros (Green et al., 2005).
- » Dónde se custodiarán los datos y qué estándares se deben tener en cuenta. Hay que identificar el catálogo o herramienta tecnológica donde serán depositados los datos con el propósito de conocer de antemano campos y requisitos obligatorios que se debe adquirir en campo. Así mismo, es primordial identificar el capital humano y económico que costará esta labor.

### 9.3.2. Control de calidad durante la planificación

Debe recordarse que el objetivo principal de esta etapa es maximizar el valor y la usabilidad de los datos mediante el uso de principios básicos de gestión de datos y metadatos. El uso de herramientas tecnológicas permitirá minimizar las probabilidades de error, por lo que es esencial capacitar a los voluntarios en el uso y funcionamiento de las mismas y mantenerlos informados de las etapas a seguir los diferentes pasos, herramientas y protocolos.

Considerando que muchos proyectos se desarrollan entre varias entidades, organizaciones, empresas o pobladores locales, es oportuno también planificar los instrumentos en función del grado de participación. Para esto vale tener en cuenta la escalera de participación, la cual permite entender los roles y responsabilidades de los actores. Por ejemplo, si con el trabajo de recolección se otorga poder ciudadano, ya se trate de una asociación, delegación o control, o hay cierto grado de formalismo (informativo, consultivo o de apaciguamiento), e incluso si, en términos reales, no habrá participación (Arnstein, 1969).

### 9.3.3. Herramientas útiles durante la planificación

Como herramientas útiles durante la planificación, la National Biodiversity Network (NBN, 2016) muestra cómo ejecutar un esquema de registro de información biológica.

## 9.4. Captura de datos y documentación

Antes de iniciar esta etapa se deben identificar las herramientas, formatos y estándares para la captura de datos, así como la documentación, que debe incluir el cómo, cuándo, dónde y por qué de la toma de los datos (metadatos), así como el rol de cada participante dentro del ciclo de gestión (Maganto et al., 2008; Wieczorek et al., 2009; 2012; Eléspuru, 2017; UK Data Service, 2022). El resultado final de esta etapa es un conjunto de datos almacenado en la herramienta seleccionada, siguiendo los principios y la planificación de la etapa anterior. Para ello existen varias herramientas que van desde los formatos en papel hasta aplicaciones móviles. Como se ha mencionado, es importante establecer claramente los formatos a seguir por parte del grupo organizador del proyecto, que debe considerar la compatibilidad de estos formatos y las variables a medir con estándares para la documentación de información de presencia de especies, como el Darwin Core (Wieczorek et al., 2009; 2012) o normas técnicas ISO, como la 19115 (Maganto et al., 2008), que se encarga de definir la estructura para describir los datos (metadatos) que pueden tener una extensión geográfica, con el objetivo de garantizar los intercambios de información de manera interoperable.

Cuando se trate de datos socioecológicos, es decir, de hechos que expresen la situación cultural, social y/o económica de un actor o un grupo actores en relación con un recurso natural, una especie, un ecosistema o con cualquier nivel de organización de la biodiversidad que resulte de interés para la investigación científica, deben considerarse los estándares Data Documentation Initiative (DDI)+ Dublin Core, que permiten documentar datos procedentes de encuestas, entrevistas, guías de observación, entre otras técnicas de recolección propias de las ciencias sociales (Gómez et al., 2016).

## 9.4.1. Buenas prácticas y aspectos importantes en la captura y documentación de datos

Como buenas prácticas y aspectos importantes en la captura y documentación de datos, se tienen:

- » Todas las personas (investigadores, guías locales, invitados, procesadores de datos, curadores, etc.) que participan en el proyecto deben tener claro su rol en el proceso de captura de los datos. Así mismo, deben contar con un conjunto mínimo de instrucciones y guías que orienten la consolidación de la información, y tener conocimiento tanto de los objetivos del proyecto como de la forma definida para usar los datos. Esto es crucial, ya que se requiere que los participantes asimilen los objetivos del proyecto y, con ello, se pueda garantizar mejores resultados en cuanto a la calidad de los datos recolectados (Green et al., 2005; Turnhout & Boonman, 2011; MacPhail & Colla, 2020).
- » Conocer desde el principio las plantillas de datos que se deben documentar (esto varía dependiendo del estándar), así como la obligatoriedad/condicionalidad de los campos; de esta manera se garantiza que en campo se capturan los datos suficientes para documentar las plantillas definidas.
- » Las aplicaciones móviles pueden reducir los errores y facilitar sustancialmente la captura y uso de los datos. Por ejemplo, las aplicaciones en los teléfonos inteligentes (como eBird, iNaturalist, etc.) producen datos de ubicación estandarizados y con media a alta precisión, mientras que las coordenadas generadas por voluntarios mediante métodos manuales pueden ser mucho menos precisas. Del mismo modo, la entrada de datos en línea reduce los problemas de duplicación y mejora la calidad, ya que los datos se pueden validar de forma remota (Turnhout & Boonman, 2011).
- » Para la recolección a través de encuestas y entrevistas, es preciso diferenciar que las primeras pueden tener preguntas cerradas o abiertas. Las preguntas cerradas contienen categorías u opciones de respuesta que han sido previamente delimitadas (Gómez et al., 2016).
- » La documentación de los metadatos o datos para describir el porqué, quién, qué, cuándo, dónde y cómo de los datos debe ser clara y completa. Se debe documentar toda la información que permita a los potenciales interesados en los datos entender la naturaleza y origen de estos. Se debe documentar el significado de las siglas, acrónimos o simbología usada en los proyectos. Los metadatos o datos acerca de los datos son claves para el intercambio y reutilización de los datos (Turnhout y Boonman, 2011).

## 9.4.2. Control de calidad durante la captura y documentación de datos

Para aumentar la precisión en la captura y documentación se deben revisar los equipos, materiales y elementos que se usarán durante la captura de los datos. También ayuda contar con las capas geográficas precargadas en el GPS, lo que facilita la documentación de los datos y mejora desde la fuente la calidad de la georreferenciación. Durante la documentación de metadatos debe evitarse el uso de vocabulario vernáculo y, si es el caso, documentar un glosario de términos vernáculos para guiar a los potenciales lectores del metadato. Si más de una persona estará encargada de documentar a través de metadatos, se recomienda previamente diligenciar en conjunto un metadato modelo, donde se llegue a un acuerdo acerca del contenido básico que será común a todos los participantes del proyecto.

Sin importar la precisión de los datos, como con cualquier proyecto, es importante minimizar la posibilidad de errores y comprender y describir cómo la calidad de los datos varía entre muestras o eventos de muestreo. La validación, verificación y retroalimentación de datos y metadatos puede reducir las tasas de error. Por lo tanto, se recomienda identificar posibles errores cometidos en otros eventos de evaluación de la biodiversidad para tenerlos presentes en todo el proyecto de monitoreo. Siempre hay inconvenientes y errores en la toma de los datos, sin embargo, considerarlos y documentarlos evita posibles sesgos en la interpretación de los resultados y las conclusiones, que no están asociados a la naturaleza del experimento.

## 9.4.3. Herramientas útiles durante la captura y documentación de datos

Como se mencionó anteriormente, aplicaciones como iNaturalist o eBird facilitan la captura y documentación de los datos y limitan la probabilidad de errores humanos en la toma de coordenadas y documentación de fechas. Sin embargo, en ocasiones, en donde se usan formatos u hojas de cálculo para documentar los datos, el uso de filtros permite corregir errores de duplicidad (nombre de los colectores en varios formatos, por ejemplo, Carlos Andrés Cuervo, Carlos Cuervo, Carlos A. Cuervo), formato de las fechas, errores ortográficos (revisar la ortografía, aspecto que puede generar duplicidad) y caracteres ocultos. En la Tabla 9.1 se describen algunas de las herramientas útiles para la validación y documentación de datos sobre biodiversidad.

Para la documentación del metadato, es recomendable usar herramientas de publicación como The Integrated Publishing Toolkit (IPT) de la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF). Esta plataforma facilita el proceso de publicación de datos de biodiversidad en la red de GBIF. La publicación de datos a través del IPT permite subir, estandarizar, publicar y registrar datos primarios en seis pasos, sin las

complicaciones de tener que instalar o administrar una aplicación informática. En Colombia, el nodo de GBIF es el SiB Colombia (<https://www.sibcolombia.net/>), el cual está encargado de administrar la plataforma IPT, pero los recursos que se publican conservan en todo momento el nombre de la entidad u organización propietaria de los datos.

Para facilitar el registro digital, anticipando la necesidad de procesar grandes volúmenes de datos, se pueden usar herramientas como Typeform o Kobo Toolbox para el diseño y administración de formularios electrónicos, encuestas y entrevistas (Tabla 9.2). El primero funciona en línea y el segundo cumple un doble propósito, incluyendo trabajo desconectado (*offline*) y geolocalización de observaciones. También se resalta la posibilidad de usar Avenza Map, ArcGIS Collector o Qfield en el registro de datos geográficos y la orientación y verificación de información en campo. Finalmente, para el escaneo de registros análogos (en papel), se puede recurrir al uso de aplicaciones como LightPDF o OCR.Space, las cuales posibilitan el reconocimiento de caracteres, imágenes e idiomas.

Recurso	Descripción	Enlace
Google Refine y Excel	Herramienta para revisar: <ul style="list-style-type: none"> <li>» Duplicidad de términos en las columnas.</li> <li>» Formatos apropiados en las celdas.</li> <li>» Documentación completa de los elementos obligatorios.</li> </ul>	<a href="http://openrefine.org/">http://openrefine.org/</a>
Taxonomic Name Resolution Service	Validación de nombres científicos.	<a href="https://tnrs.biendata.org/">https://tnrs.biendata.org/</a>
List Matching Service (Catalogue of Life)	Validación de nombres científicos.	<a href="https://www.catalogueoflife.org/">https://www.catalogueoflife.org/</a>
Validación en R	Script para la validación de nombres científicos en software R.	<a href="https://github.com/I2DHumboldt/Script-validacion-taxon-mica-en-R">https://github.com/I2DHumboldt/Script-validacion-taxon-mica-en-R</a>
Regi0	Herramienta para la validación de nombres científicos y coordenadas en Python.	<a href="https://github.com/PEM-Humboldt/bdcc-tools">https://github.com/PEM-Humboldt/bdcc-tools</a>
Validación de coordenadas en QGIS	Guía para la validación de coordenadas en QGIS.	<a href="https://sites.google.com/humboldt.org.co/i2dwiki/consulta">https://sites.google.com/humboldt.org.co/i2dwiki/consulta</a>
Canadensys: conversor de coordenadas	Herramienta para convertir coordenadas geográficas GMS de manera masiva y automática a grados decimales.	<a href="http://data.canadensys.net/tools/coordinates">http://data.canadensys.net/tools/coordinates</a>
Canadensys: conversor de fechas	Herramienta para convertir fechas de manera masiva y automática al formato ISO 8601.	<a href="http://data.canadensys.net/tools/dates">http://data.canadensys.net/tools/dates</a>
Codificación de la división político-administrativa (Divipola) de Colombia	Lista de nombres estandarizados de departamentos, municipios, corregimientos departamentales y centros poblados.	<a href="https://www.datos.gov.co/widgets/gdxc-w37w">https://www.datos.gov.co/widgets/gdxc-w37w</a>

Tabla 9.1.

Herramientas de revisión, validación y documentación de datos sobre biodiversidad

**Tabla 9.2.**

Herramientas de recolección y sistematización de información sobre biodiversidad

Recurso	Descripción	Enlace
KoboToolbox	Sirve para: formularios complejos (con lógica de omisión y validación), administrar biblioteca de preguntas e incluir ubicación GPS, imágenes, videos, calificaciones y matrices. Posibilita compartir proyectos, establecer niveles de permisos y el trabajo en línea y desconectado ( <i>online</i> y <i>offline</i> ) usando la app KoBoCollect en Android.	<a href="https://www.kobotoolbox.org/">https://www.kobotoolbox.org/</a>
Typeform	Permite construir formularios y encuestas para compartir y difundir por diversas plataformas web y redes sociales.	<a href="https://www.typeform.com/">https://www.typeform.com/</a>
Avenza Maps	App móvil que permite usar mapas sin conexión, lo que potencia el GPS incorporado para rastrear su ubicación. Importa y exporta marcas de posición, mide distancias y áreas, y registra fotos.	<a href="https://www.avenza.com/avenza-maps/">https://www.avenza.com/avenza-maps/</a>
iNaturalist	iNaturalist es un proyecto de ciencia ciudadana y red social en línea de naturalistas, científicos ciudadanos y biólogos basada en el concepto de mapeo e intercambio de observaciones sobre biodiversidad a través del mundo. Se puede acceder al proyecto a través de su sitio web o de sus aplicaciones móviles.	<a href="https://www.inaturalist.org/">https://www.inaturalist.org/</a>
eBird	eBird es el proyecto de ciencia ciudadana relacionado con biodiversidad más grande del mundo, con más de 100 millones de registros de aves aportados a diario por usuarios alrededor del mundo.	<a href="https://ebird.org/home">https://ebird.org/home</a>

Caja 9.1.

## eBird como herramienta de recolección y sistematización de datos sobre aves

eBird es un ejemplo perfecto de una herramienta tecnológica que permite recolectar y sistematizar información sobre biodiversidad de manera fácil y eficiente. Los datos de eBird ayudan a documentar la distribución, abundancia, uso de hábitat y tendencias de las aves a través de listas de especies recolectadas dentro de un marco científico simple, con lineamientos claros que permiten que todas las personas interesadas en las aves puedan compartir sus registros a nivel global. En esta plataforma los usuarios indican cuándo, dónde y cómo avistaron aves, para después sintetizar sus observaciones en una lista de chequeo de todas las aves observadas o escuchadas durante la jornada. La aplicación móvil de eBird permite la recolección de datos sin conexión a internet en cualquier parte del mundo. Además, la plataforma cuenta con una página web que provee muchas formas de explorar y resumir tanto los datos personales como las observaciones realizadas por la comunidad global de eBird (<https://ebird.org/about>).

La Figura 9.3 es un ejemplo de material de buenas prácticas producido desde el Instituto Humboldt para orientar el uso de eBird durante el Global Big Day.



Figura 9.3.

Material de buenas prácticas producido por el Instituto Humboldt

## 9.5. Almacenamiento y custodia de datos

Debe establecerse un plan para el almacenamiento y custodia de datos a corto plazo para minimizar potenciales pérdidas y a largo plazo para las partes interesadas (Matsunaga et al., 2013; UK Data Service, 2022). Interpretar y usar los datos en el futuro y decidir qué datos preservar, dónde preservarlos y qué documentación será necesaria para acompañar los datos es fundamental para asegurar el impacto del proyecto (Green et al., 2005; Turnhout & Boonman, 2011). El uso de aplicaciones móviles y herramientas tecnológicas para la captura y documentación de los datos y metadatos facilita este proceso, al almacenar dichos datos e información en bases de datos centralizadas y con parámetros mínimos de seguridad, lo cual brinda mayor confiabilidad en el almacenamiento y custodia de los datos.

Un aspecto clave en este proceso es hacer una adecuada sistematización de las evidencias recolectadas precisando y definiendo las variables que dan cuenta del fenómeno de estudio. Esto implica, establecer un diccionario de datos que permita a cualquier persona reconocer las preguntas, categorías, unidades de medida o valores que cada variable monitoreada puede tomar. De esta manera, el usuario de los datos podrá interpretar más fácilmente su significado. Esto es especialmente importante en proyectos de monitoreo a largo plazo, donde las personas encargadas de cada etapa pueden cambiar de un año a otro o en proyectos donde nuevos voluntarios se incorporan de manera continua.

## **9.5.1. Buenas prácticas y aspectos importantes de almacenamiento y custodia de los datos**

En cuanto a las buenas prácticas y aspectos importantes de almacenamiento y custodia de los datos, se debe:

- » Depositar los datos en un repositorio abierto, añadiendo descriptores de los datos para documentar los metadatos. Al momento de escoger el repositorio, revisar la interoperabilidad con repositorios de mayor envergadura, para lo cual es importante revisar los estándares y normas que los rigen (Green et al., 2005).
- » El uso de formatos digitales permite el almacenamiento seguro de los datos. Cargar los datos en la nube y contar en lo posible con copias de respaldo previene potenciales pérdidas de información (Costello & Wieczorek, 2014).
- » Considerar los riesgos de falla de la tecnología y los planes para solventar estos riesgos: almacenamiento en equipo local, robo o pérdida de dispositivos de almacenamiento electrónico, etc.
- » Mantener los tres pilares de la seguridad de la información: confidencialidad, integridad y disponibilidad. La confidencialidad se debe tener en cuenta, en caso de que se cuente con datos a los que solo puedan acceder algunas personas por medio de permisos y asignación de credenciales. La integridad de los datos es necesaria para asegurar que estos no sufran cambios y se mantengan iguales en el tiempo. Esto se puede garantizar con la aplicación de procesos y protocolos en los diferentes estadios del dato: copias de respaldo, carga, descarga, entre otros. Finalmente, para garantizar la disponibilidad de los datos es necesario contar con copias de respaldo, al igual que planear la infraestructura informática necesaria y el crecimiento estimado de los datos (Varón et al., 2015).

## 9.5.2. Control de calidad durante el almacenamiento y custodia de los datos

Realice constantemente copias de seguridad programada y verifique el tamaño de los archivos. De este modo puede realizar seguimiento del crecimiento de los datos y metadatos.

**HERRAMIENTAS ÚTILES DURANTE EL ALMACENAMIENTO Y CUSTODIA DE LOS DATOS.** Utilice herramientas gratuitas, como Google Drive, Dropbox, We-transfer, para almacenar los datos. Documente los metadatos usando herramientas como el IPT de GBIF, que garantizan la custodia y disponibilidad del metadato. Sin embargo, si se quiere contar con un espacio que permita centralizar las consultas, el acceso simultáneo de múltiples usuarios y facilidad para hacer copias de respaldo, se pueden utilizar motores de bases de datos relacionales (MySQL, PostgreSQL, etc.) o no relacionales (MongoDB, Couchbase, etc.).

## 9.6. Publicación de datos

La publicación de los datos es esencial para la incidencia de los proyectos de monitoreo y evaluación de biodiversidad. Es importante recordar que, aunque los alcances de un conjunto de datos pueden estar vinculados a proyectos particulares a corto plazo, pueden convertirse en el punto de partida de proyectos a largo plazo, cuyo alcance, objetivos e impactos no son mensurables al inicio del proyecto, pueden generar información que impacte en los tomadores de decisiones a través de ventanas temporales, geográficas o taxonómicas más amplias (Tenopir et al., 2015). Sin este paso del ciclo, las iniciativas quedarían aisladas y el esfuerzo de los participantes, organizaciones e involucrados no sería visible. Los datos sobre biodiversidad pueden ser de interés de múltiples actores, entre los que se encuentran: la comunidad en general, los científicos, los encargados de la formulación de políticas y los medios de comunicación, y deben estar disponibles y resumidos de manera accesible, según sea necesario (Costello et al., 2013).

El mundo actual demanda marcos amplios de conocimiento compuesto por ciudadanos, empresas, instituciones gubernamentales, grupos e individuos que no solo demandan información, sino que, según las circunstancias, pueden constituir nodos de producción, organización, recolección e interpretación de datos para satisfacer múltiples necesidades y tomar decisiones. Esta necesidad de publicar los

datos cobra además relevancia frente al auge del Big Data, Link Data, Open Data, así como en iniciativas que promueven el manejo y la administración de datos científicos, siguiendo los principios FAIR (*findable [ubicable], accessible [accesible], interoperable, reusable [reutilizable]*). Estas iniciativas que buscan facilitar el acceso a los datos no solo para los científicos, sino también para la ciudadanía en general.

En la actualidad, publicar datos implica ponerlos a disposición en un servidor (repositorio) que permita descubrirlos, distribuirlos, analizarlos y utilizarlos. Esto se logra mediante la catalogación de las características de la investigación, del conjunto de datos asociado y de otros materiales de referencia relacionados, como los informes y artículos derivados.

## 9.6.1. Buenas prácticas y aspectos a tener en cuenta durante la publicación de datos

Como buenas prácticas y aspectos a tener en cuenta durante la publicación de datos, se tienen:

- » Compartir elementos no sensibles de los datos permitirá que sean utilizados por otros y maximizará su valor. Los datos deben estar disponibles en formato electrónico y en internet, siempre que sea posible, ya que esto aumenta su accesibilidad.
- » La gestión adecuada de la información es crucial para garantizar la integridad, utilidad a largo plazo y accesibilidad de los resultados de monitoreo (Costello et al., 2013). Los programas de monitoreo efectivos incluyen organización y documentación exhaustiva de sus conjuntos de datos, almacenamiento seguro a largo plazo, archivos con capacidad de búsqueda, revisiones periódicas y controles de calidad.
- » Con los avances de la tecnología, los conjuntos de datos se han vuelto más grandes y complejos, por lo que requieren más recursos para administrar (Beaman & Cellinese, 2012).
- » Las técnicas para analizar datos espacialmente y para compartir datos a través de redes presentan oportunidades para ver y sintetizar información ambiental. Sin embargo, también aumentan la necesidad de políticas y estándares de datos coordinados.
- » Existen bastantes retos en la accesibilidad de los datos y, en muchos casos, la literatura científica publicada puede ser la fuente de información más accesible y útil para la mayoría de los proyectos; en particular, los artículos que presentan los resultados del monitoreo en relación con la investigación sobre ecosistemas y factores de estrés son los más fáciles de identificar e integrar (Green et al., 2005; Turnhout & Boonman, 2011).

- » Aunque los informes de evaluación bien referenciados (sobre regiones y temas) y los informes orientados a los resultados elaborados a través de programas de seguimiento son más difíciles de localizar, a menudo brindan información más detallada, que se adapta a las necesidades de los proyectos y actores involucrados.
- » Estos desafíos deben ser considerados a la hora de publicar los datos y resultados de la investigación, ya que en muchos casos la accesibilidad está directamente relacionada con el impacto del proyecto.

## 9.6.2. Control de calidad durante la publicación de datos

Recuerde considerar los posibles derechos de propiedad intelectual y los requisitos de protección de datos en una etapa temprana. Considere la naturaleza de los datos que va a publicar, ya que en algunos casos pueden considerarse sensibles, como las coordenadas de especies traficadas y amenazadas. Al hacer públicos los datos, se garantiza que estos puedan ser revisados por personas externas al proyecto y de esta forma se puede obtener retroalimentación acerca de los datos que puede ayudar a corregir posibles patrones de error u omisiones en la información que no se había tenido en cuenta en el proyecto.

**HERRAMIENTAS ÚTILES EN LA PUBLICACIÓN DE DATOS.** Entre otras, se recomienda usar: iNaturalist, eBird, IPT y Geonetwork (<https://geonetwork-opensource.org/>).

## 9.7. Síntesis y uso de los datos

En este proceso se realiza la síntesis de la información del proyecto y se obtienen los insumos necesarios para generar los productos pactados e informes destinados a posibles financiadores, iniciativas institucionales u otros actores involucrados en los proyectos. Además, se facilita el uso e integración de datos provenientes de diferentes proyectos de monitoreo y evaluación de biodiversidad.

La interpretación de los datos recolectados en el estudio puede hacerse de diversas formas y de manera flexible, según el propósito de cada estudio; sin embargo, cuando se inicia esta actividad, es indispensable definir categorías o codificaciones que faciliten el entendimiento de los hechos y/o fenómenos que se quiere comprender.

der (Brummitt et al., 2017; Han et al., 2017). Además, es imprescindible contextualizar los datos en un modelo conceptual que permita mantener la coherencia argumentativa, teórica y metodológica, y que no sobreestime y subvalore las características y limitantes de los datos (Capítulo 3). Para esto es adecuado entonces leer los metadatos del estudio y consolidar representaciones y síntesis de acuerdo con el tipo de dato trabajado: tabulaciones, gráficas, matrices, ecuaciones, mapas, informes, etc.

## **9.7.1. Buenas prácticas y aspectos importantes en la síntesis y uso de los datos**

La evaluación es un proceso continuo a través del cual se puede mejorar un proyecto y esto es particularmente relevante en los proyectos de evaluación y monitoreo de la biodiversidad. Aprender de los errores e identificar problemas comunes son aspectos clave de la evaluación continua del proyecto y mejoran el valor de los datos recopilados (Capítulo 12).

## **9.7.2. Control de calidad durante la síntesis y uso de los datos**

Se deben implementar procesos de verificación y control de calidad que mejoren la calidad de los datos e identifiquen los errores potenciales y técnicas que conducen a los mismos (Chamanara & König, 2014; Han et al., 2017). Los datos de calidad reconocida son científicamente útiles y, cuando se analizan de manera sólida, es más probable que los responsables de la formulación de políticas los utilicen como evidencia; pero datos de calidad desconocida están abiertos a la crítica científica.

**HERRAMIENTAS ÚTILES DE SÍNTESIS, ANÁLISIS Y USO DE DATOS.** Muchas herramientas informáticas están disponibles para apoyar la exploración y visualización de los datos antes de su análisis. Desde la producción de gráficos descriptivos simples hasta análisis estadísticos descriptivos, pueden ser elaborados en hojas de cálculo con software abierto, como Open Office, o con costo, como Microsoft Excel. En la red se ofrecen múltiples aplicaciones de análisis de los datos, con estéticas atractivas. También es posible utilizar diferentes lenguajes de programación, como R o Python, que cuentan con librerías y paquetes especializados para procesos de exploración y visualización de los datos (Capítulos 6-8).

## Gestión de datos en el proyecto Fibras

Caja 9.2.

Fibras es un convenio para la planificación socioecológica en áreas de interés de Ecopetrol S.A., en la Orinoquia y Magdalena Medio, como aporte a una transición sostenible del sector de hidrocarburos en Colombia. En su componente de monitoreo, se consideraron gran parte de las estrategias presentadas en este libro, particularmente aquellas enfocadas en la gestión de datos durante las dos etapas más cruciales en el desarrollo del proyecto.

**PLANEACIÓN.** Se consideraron los alcances, actores y resultados esperados desde el principio y esto permitió a los coordinadores seguir buenas prácticas en la gestión de datos. El primer paso fue generar una síntesis del estado del conocimiento de la biodiversidad de las áreas de estudio y con ello se identificaron vacíos espaciales, temporales y taxonómicos en la información disponible.

**EJECUCIÓN.** Se establecieron las mejores estrategias para la captura y documentación de

datos de biodiversidad (monitoreo participativo, establecimiento de parcelas y eventos de monitoreo para varios grupos taxonómicos). Durante este paso se definieron tanto plantillas como estándares de documentación de datos y metadatos. Además, se consideró qué tipo de resultados, análisis y modelamiento serían útiles para la creación de indicadores y escenarios. Para ello se definieron los tipos de acceso a la información, así como los canales para compartir estos datos, los cuales permitieron el uso, trazabilidad y transparencia en su custodia y análisis.

El éxito de Fibras radicó en entender que las estrategias, pasos y buenas prácticas presentadas en este capítulo hacen parte de procesos cílicos y constantes, donde las fases en los ciclos de monitoreo y de gestión de datos son procesos continuos, más que discretos. Realizar estos procesos de manera transversal durante la planeación y ejecución de los proyectos permite una mejor aplicación de las buenas prácticas en la gestión de datos.

## 9.8. Conclusiones

Este capítulo recopila la experiencia de los autores y, en buena medida, del Instituto Humboldt en el manejo y gestión de datos sobre biodiversidad. Aunque inicialmente se había planteado como una guía de pasos a seguir, se descubrió que resaltar la naturaleza cíclica y constante de las recomendaciones, buenas prácticas y herramientas dispuestas en este texto es ideal para tratar la gestión de datos e información en un contexto de monitoreo de biodiversidad. Por lo tanto, el ciclo

de gestión de los datos fue construido teniendo en cuenta una serie de procesos esenciales en el desarrollo de proyectos de monitoreo y evaluación de biodiversidad (el ciclo dentro del ciclo).

En esta sección se integran una serie de recomendaciones, buenas prácticas y herramientas que serán de utilidad a los lectores en el desarrollo de sus propios proyectos o iniciativas. Sin embargo, esta no debe ser considerada una camisa de fuerza en el desarrollo de los proyectos. La intención es brindar a los lectores una serie de pasos que pueden mejorar la gestión de la información, entendiendo que las necesidades de información serán diferentes para cada proyecto y, por lo tanto, la gestión de la información es proporcional y específica para cada uno.

# Referencias

- Arnstein, S. R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216-224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- Beaman, R. S., & Cellinese, N. (2012). Mass digitization of scientific collections: New opportunities to transform the use of biological specimens and underwrite biodiversity science. *ZooKeys*, 209, 7-17. <https://doi.org/10.3897/zookeys.209.3313>
- Brörken, C., Hugé, J., Dahdouh-Guebas, F., Waas, T., Rochette, A. J., & de Bisthoven, L. J. (2022). Monitoring biodiversity mainstreaming in development cooperation post-2020: Exploring ways forward. *Environmental Science and Policy*, 136, 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.05.017>
- Brummitt, N., Regan, E. C., Weatherdon, L. v., Martin, C. S., Geijzendorffer, I. R., Rocchini, D., ..., & Schmeller, D. S. (2017). Taking stock of nature: Essential biodiversity variables explained. *Biological Conservation*, 213, 252-255. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.006>
- Burkhardt, U., Russell, D. J., Decker, P., Döhler, M., Höfer, H., Lesch, S., ..., & Xylander, W. E. R. (2014). The Edaphobase project of GBIF-Germany-A new online soil-zoological data warehouse. *Applied Soil Ecology*, 83, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.021>
- Chamanara, J., & König-Ries, B. (2014). A conceptual model for data management in the field of ecology. *Ecological Informatics*, 24, 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.12.003>
- Costello, M. J., Michener, W. K., Gahegan, M., Zhang, Z. Q., & Bourne, P. E. (2013). Biodiversity data should be published, cited, and peer reviewed. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(8), 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.002>
- Costello, M. J., & Wieczorek, J. (2014). Best practice for biodiversity data management and publication. *Biological Conservation*, 173, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.018>
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Guía para la anonimización de bases de datos en el Sistema Estadístico Nacional*. <https://www.dane.gov.co/files/sen/registros-administrativos/guia-metadatos.pdf>
- Eléspuru Briseño, M. del P. L. (2017). Gestión de datos de investigación en universidades en base al ciclo de vida de los datos. Caso de estudio: Área de Ciencias de la Salud [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6459?show=full>
- GBIF - Global Biodiversity Information Facility (s.f.). *IPT Integrated Publishing Toolkit*. <https://www.gbif.org/ipt>
- Gómez, N. D., Méndez, E., & Hernández-Pérez, T. (2016). Social sciences and humanities research data and metadata: A perspective from thematic data repositories. *Profesional de la Información*, 25(4), 545-555. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.jul.04>
- Green, R. E., Balmford, A., Crane, P. R., Mace, G. M., Reynolds, J. D., & Kerry Turner, R. (2005). A framework for improved monitoring of biodiversity: Responses to the World Summit on Sustainable Development. *Conservation Biology*, 19(1), 56-65.

- Han, X., Josse, C., Young, B. E., Smyth, R. L., Hamilton, H. H., & Bowles-Newark, N. (2017). Monitoring national conservation progress with indicators derived from global and national datasets. *Biological Conservation*, 213, 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.023>
- MacPhail, V. J., & Colla, S. R. (2020). Power of the people: A review of citizen science programs for conservation. *Biological Conservation*, 249, 108739. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108739>
- Maganto, A., Nogueras-Iso, J., & Ballari, D. (2008). Normas sobre metadatos (ISO19115, ISO19115-2, ISO19139, ISO15836). En *Introducción a la normalización en Información Geográfica: la familia ISO 19100* (pp. 48-57). Iaaa.es. <https://acortar.link/5pbOZO>
- Matsunaga, A., Thompson, A., Figueiredo, R. J., Germain-Aubrey, C. C., Collins, M., Beaman, R. S., ... & Fortes, J. A. B. (2013). A computational- And storage-cloud for integration of biodiversity collections. *Proceedings - IEEE 9th International Conference on e-Science, e-Science 2013* (pp. 78-87). IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/eScience.2013.48>
- Navarro, L. M., Fernández, N., Guerra, C., Guralnick, R., Kissling, W. D., Londoño, M. C., ..., & Pereira, H. M. (2017). Monitoring biodiversity change through effective global coordination. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 29, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.005>
- NBN – National Biodiversity Network (2016). Running a Biological Recording Scheme or Survey Guidebook. 16 de febrero. <https://nbn.org.uk/publications/running-a-biological-recording-scheme-or-survey-guidebook/>
- Proença, V., Martin, L. J., Pereira, H. M., Fernández, M., McRae, L., Belnap, J., ..., & van Swaay, C. A. M. (2017). Global biodiversity monitoring: From data sources to essential biodiversity variables. *Biological Conservation*, 213, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.014>
- Randin, C. F., Ashcroft, M. B., Bolliger, J., Cavender-Bares, J., Coops, N. C., Dullinger, S., ..., & Payne, D. (2020). Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models. *Remote Sensing of Environment*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111626>
- Tenopir, C., Dalton, E. D., Allard, S., Frame, M., Pjesivac, I., Birch, B., ..., & Dorsett, K. (2015). Changes in data sharing and data reuse practices and perceptions among scientists worldwide. *PLoS One*, 10(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134826>
- Turnhout, E., & Boonman-Berson, S. (2011). Databases, scaling practices, and the globalization of biodiversity. *Ecology and Society*, 16(1). <https://www.jstor.org/stable/26268850?seq=2>
- UK Data Service (2022). *The importance of managing and sharing data*. <https://ukdataservice.ac.uk/learning-hub/research-data-management/#data-lifecycle>
- Varón, A. Á. R., Cañas, J. M. G., Ramos, F. P., Aparicio, E. S., & Muñoz, C. A. B. (2015). *Seguridad perimetral, monitorización y ataques en redes*. Ediciones de la U.
- Wieczorek, J., Bloom, D., Guralnick, R., Blum, S., Döring, M., Giovanni, R., ..., & Vieglais, D. (2012). Darwin core: An evolving community-developed biodiversity data standard. *PLoS One*, 7(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029715>
- Wieczorek, J., Döring, M., De Giovanni, R., Robertson, T., & Vieglais, D. (2009). *Darwin Core Terms: A quick reference guide*. <https://dwc.tdwg.org/terms/>





# La estrategia de comunicación: una aliada del monitoreo de biodiversidad

---

Carolina Soto Vargas<sup>1</sup>, Alejandro Hernández-Cobos<sup>1</sup>,  
María Helena Olaya-Rodríguez<sup>1</sup>, Diana Carolina Rengifo-Ruiz<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Humboldt,  
<sup>2</sup> Universidad del Cauca.

# 10.1. Importancia de la comunicación en el monitoreo y evaluación de biodiversidad

Este capítulo presenta una reflexión sobre la importancia de la comunicación y la estrategia que debe ser diseñada e implementada como elemento transversal en todo ejercicio de monitoreo y evaluación de biodiversidad, con miras a respaldar el desarrollo del mismo de acuerdo con lineamientos que permitan que todos los involucrados asuman el proceso como suyo. Para asumir este reto se sugieren acciones clave que siempre deben ser consideradas: identificación de públicos y conceptualización de mensajes, definición de formatos, canales y lenguajes, en un panorama en el que la comunicación juega un papel vital que trasciende la simple puesta en circulación de mensajes o la tan habitual socialización de resultados al final de la ejecución de un proyecto. El ejercicio de comunicación debe ser diseñado para respaldar y garantizar el desarrollo y sostenibilidad del proceso mismo, permitiendo que los actores involucrados lo reconozcan como legítimo, porque fueron considerados desde el primer momento y se tomaron acciones concretas en conjunto que respaldan dicha afirmación, más allá del discurso.

Se entiende la comunicación como una herramienta fundamental que permite poner a dialogar a los diferentes actores que participan en un ejercicio de monitoreo y evaluación de biodiversidad y que tiene un rol sumamente relevante, con implicaciones directas en cada uno de los pasos del ciclo de monitoreo. “La idea de que la estrategia es necesaria para la comunicación no es nueva, pues, sin estrategia, nuestras palabras y demás actos comunicativos perderían gran parte de su eficacia. No basta transmitir lo que se piensa, sino también pensar lo que se transmite” (Baquer, 2001). No se trata entonces solo de generar mensajes específicos para compartir los resultados del monitoreo al final del proceso, ya que esta tarea demanda una labor detallada y planificada, con participación activa de todos los públicos de interés, donde adicionalmente se deberán destinar los recursos necesarios para cumplir con tal fin.

La definición etimológica de la palabra *comunicación* sugiere que cuando comunicamos ponemos algo en común. De esta forma, en el origen mismo del término se contemplan la idea de integración (crear vínculos comunes) y la esfera pública en que se genera (el entorno) y a la cual fortalecen con las interacciones cotidianas (Pérez, 2012). Aunque la acción de “poner algo en común” podría parecer sencilla, en la práctica no lo es, y menos en escenarios asociados con la comunicación de la ciencia. En ese sentido, cuando se describen procesos de comunicación, no solo se hace referencia a la transmisión de información a través de diversos canales que son utilizados para

la socialización de esa información —la visión más simple e instrumental de lo que es comunicar—, sino que, cuando se trata de un proceso bien planificado, también se está considerando que cada una de las acciones comunicativas previstas son diseñadas para respaldar e impulsar cambios tanto a nivel de los individuos, como de las relaciones que se establecen entre ellos y con su entorno (Pérez, 2012); de ahí la importancia de la comunicación en un proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad.

Como la comunicación se refiere al intercambio de información y de diferentes formas de entender el mundo y, además, se basa en el establecimiento de diálogos entre los involucrados para aumentar la comprensión de las problemáticas, también resulta fundamental para apoyar la planificación y acciones en temas de interés (Hesselink et al., 2007). La comunicación surge como una de las acciones fundamentales en las estrategias de monitoreo de biodiversidad debido a su rol para facilitar diálogos entre diferentes actores y contribuir en el proceso de comprensión del ciclo de monitoreo y sus resultados. Por esa razón, la estrategia de comunicación debe ser concebida como un componente transversal a considerar desde el punto de partida.

Ahora bien, atendiendo a la naturaleza transversal del componente de comunicaciones para el ejercicio de monitoreo, es importante resaltar su pertinencia en las dos fases del ciclo (planeación e implementación) y sus siete pasos.

**FASE DE PLANEACIÓN.** Es crucial incluir el componente de comunicaciones para entender el objetivo del monitoreo en relación con el objetivo de la estrategia de comunicaciones (Capítulo 2), empezando por identificar los públicos involucrados y los puntos claves del porqué y el para qué de una estrategia de comunicación en un proceso de monitoreo (Capítulo 3) y, finalmente, trabajando en la mejor manera de comunicar conceptos y elementos clave del diseño de muestreo (Capítulo 4).

**FASE DE IMPLEMENTACIÓN.** Es necesario que el equipo técnico trabaje de la mano con el equipo designado para liderar el componente de comunicaciones para consolidar mensajes clave que se originan en la recolección de datos (Capítulo 5), análisis y modelamiento (Capítulo 6), indicadores y escenarios (Capítulo 7), e interpretación y divulgación (Capítulo 8).

En cuanto a los otros procesos transversales del ciclo del monitoreo, es relevante resaltar las sinergias que se deben establecer con el componente de comunicaciones. Respecto de la gestión de datos e información (Capítulo 9), es fundamental que haya un constante diálogo con el equipo encargado de dicho proceso, dada la importancia de comunicar de manera transparente los elementos clave asociados a la cadena de gestión del conocimiento: dónde se almacenan los datos y quién puede acceder a los datos y a la información derivada del ciclo de monitoreo.

Con relación al proceso de evaluaciones periódicas (Capítulo 12), es importante señalar que estas pueden alimentar la estrategia de comunicación a través de actividades de retroalimentación efectiva que den cuenta del estado del monitoreo en cada una de las evaluaciones. Finalmente, para el proceso de sostenibilidad y con-

tinuidad (Capítulo 11), es vital tener un enlace permanente con el proceso de comunicaciones, porque, además de fortalecer la interlocución con los diferentes públicos objetivo, también permite que se puedan reforzar los mensajes asociados con la importancia del monitoreo, no solo con los actores que participan directamente, sino considerando los demás que podrían estar interesados en contribuir a que el monitoreo continúe en el largo plazo.

Debido al papel estratégico de la comunicación en cada uno de los pasos del ciclo de monitoreo, es primordial atender las siguientes preguntas: cuál es el objetivo de comunicar un ejercicio de monitoreo, qué se quiere comunicar, qué se debería tener en cuenta para comunicar, a quién queremos comunicar, qué herramientas están disponibles para tener una comunicación efectiva y asertiva. Estas preguntas orientadoras son fundamentales para no perder el rumbo en el proceso de comunicación asociado con las actividades de monitoreo y evaluación de biodiversidad. Adicionalmente, hay que resaltar que generalmente los procesos de monitoreo incluyen múltiples actores y, por lo tanto, es primordial entender que la comunicación no puede ser unilateral, sino que debe ser incluyente, dialógica y reconocer la importancia de la diversidad de actores y saberes locales involucrados en todo el proceso, así como tener la posibilidad de adaptarse a los cambios que se pueden presentar durante el monitoreo a lo largo del tiempo.

El principal reto al que se enfrentan los responsables de dinamizar y gestionar el ejercicio de comunicación de este tipo de procesos de largo alcance es el relativo a la importancia de las acciones asociadas con la comunicación para que estas no sean vistas solamente como un simple ejercicio de difusión o entrega unilateral de datos a un público específico. Por ello, para garantizar el éxito del proceso, el primer paso es comprender que la comunicación es un elemento transversal que, desde la base, ayuda a construir los cimientos no solo para los mensajes que salen del ejercicio de monitoreo, sino para garantizar el desarrollo apropiado, la sostenibilidad y la legitimidad de todo el proceso.

## 10.2. Públicos de interés

En este capítulo, cuando se habla de comunicación se alude a un proceso de doble vía: “un ejercicio de reconocimiento del ‘otro’ [...], un intento de encuentro y relación que transformará necesariamente a los actores” (Delgado, 1990). Por lo tanto, una de las acciones más relevantes es la identificación de con quién o quiénes es importante comunicarse y la priorización adecuada de los públicos objetivo. Este punto de referencia es extremadamente útil cuando se trata de determinar los alcances de la divulgación y la difusión en función de los actores que intervienen y de los propósitos, los escenarios, los contenidos y las relaciones que se establecen (Daza & Arboleda, 2007).

Aunque cada proyecto de monitoreo se desarrolla en territorios completamente particulares relacionados fuertemente con el contexto —de donde derivan las formas de relacionamiento con la biodiversidad, las lógicas socioeconómicas y los modos de comunicación—, existe un conjunto de actores que es posible encontrar en la mayoría de los ámbitos nacionales y que podría ser tenido en cuenta para ampliar los impactos que busca el monitoreo, bien sea en su participación o en el conocimiento de los resultados para la toma de decisiones.

Para adelantar esta primera acción, lo primero es la identificación de los actores desde una perspectiva global. La sugerencia es tomar como base las siguientes preguntas orientadoras:

- » Quiénes se beneficiarán de los resultados del monitoreo a corto, mediano y largo plazo.
- » Quiénes son o pueden convertirse en potenciales aliados estratégicos del monitoreo.
- » Quiénes están o podrían estar interesados en los mensajes de una iniciativa de monitoreo.

Una vez realizado el análisis anterior, el segundo paso es la segmentación de públicos, que permitirá enfocar los mensajes de manera más asertiva, para lo que habrá que tener presente cuál es el objetivo del monitoreo, quiénes son los actores que participan en este y en qué etapas del ciclo de monitoreo participan. La tabla 10.1 muestra algunos de los actores que pueden participar en la estrategia de comunicación asociada al monitoreo de biodiversidad. Dicha tabla es de utilidad para el diagnóstico de actores e identificación de públicos que orienta la estrategia de comunicación. Cada uno de estos actores potenciales posee unas formas particulares de organización, roles, responsabilidades, deberes y derechos fundados en su rol en el territorio y podrían ser priorizados con base en los alcances del proyecto de monitoreo.

Si bien esta priorización puede estar condicionada por diversos elementos, como la duración del monitoreo, el presupuesto, los escenarios de participación, el acceso a la conectividad virtual y la disponibilidad de tiempo de las personas, se sugiere consolidar tres grandes grupos de públicos por nivel de importancia o relevancia (alta, media, baja), mismos que se categorizan utilizando como guía las siguientes variables: 1) participación en el proceso de monitoreo, 2) relación cotidiana con los objetos de monitoreo, 3) interés de conocer los resultados, 4) influencia en la toma de decisiones en el territorio y la estructura organizacional que representa, y 5) responsabilidad social y ambiental que representa, potencial de replicar la información y relevancia para la continuidad de los procesos. Es importante resaltar que esta priorización de actores está condicionada principalmente por el contexto y objetivo del monitoreo. Para desarrollar con mayor claridad este planteamiento, en las Cajas 10.1 y 10.2 se presentan dos experiencias de monitoreo y se explica cómo se desarrolló la identificación de actores.

**Tabla 10.1.**

**Sectores, actores y nivel de participación para la comunicación en proyectos de monitoreo y evaluación de biodiversidad en Colombia**

<b>Sectores</b>	<b>Actores</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nivel de participación</b>
Sector público nacional	Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)	Encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible del país (Decreto 3573 de 2011).	Político
	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	Es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores (Decreto 3570 de 2011).	Político
Sector público local	Gobernaciones	Bajo su jurisdicción tienen la dirección, planificación y promoción del desarrollo económico, social y ambiental, cumpliendo funciones de intermediación y coordinación entre el gobierno nacional y los municipios (Constitución Política de Colombia, art. 298).	Político y financiero
	Alcaldías	Como funciones principales, tienen la administración de los asuntos municipales y la prestación de los servicios públicos que determine la ley. Ordenan el desarrollo de su territorio y construyen obras que demanden el progreso municipal. Promueven la participación comunitaria y el mejoramiento social y cultural de sus habitantes. Finalmente, planifican el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades (Ley 1551 de 2012).	Político y financiero
	Corporaciones autónomas regionales (CAR)	Encargadas por ley de administrar —dentro del área de su jurisdicción— el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y de propender por el desarrollo sostenible del país (Ley 99 de 1993).	Político y financiero
	Personerías municipales	Son organismos de control y vigilancia de las respectivas entidades territoriales, que ejercen la función de Ministerio Público y están encargadas de la defensa, protección y promoción de los derechos humanos en su jurisdicción, así como de ejercer el control disciplinario en el municipio.	Político y social

Sectores	Actores	Descripción	Nivel de participación
Sector público local	Defensoría del Pueblo	Orienta e instruye a los habitantes del territorio nacional y a los colombianos en el exterior en el ejercicio y defensa de sus derechos ante las autoridades competentes o entidades de carácter privado (Constitución Política de Colombia, art. 282).	Político y social
	Procuradurías provinciales	Ejercen vigilancia superior de la conducta oficial de quienes desempeñen funciones públicas, inclusive los de elección popular; ejercen preferentemente el poder disciplinario; adelantan las investigaciones correspondientes e imponen las respectivas sanciones conforme a la ley (Constitución Política de Colombia, art. 277).	Político y social
Sociedad civil y comunitario	Juntas de acción comunal (JAC)	Organizaciones de carácter social, cívico y comunitario, de naturaleza solidaria. Tienen entre sus funciones: organizar programas que permitan mejorar las condiciones de un sector, promover el sentido de pertenencia en el individuo frente a la comunidad, resolver y eliminar las dificultades que puedan presentarse, y plantear los problemas que deban solucionarse, manteniéndose dentro de su límite (Decreto 1930 de 1979).	Social
	Líderes y lideresas del territorio	Se define líder o lideresa social como aquella persona que defiende los derechos de la colectividad, desarrolla una acción por el bien común y es reconocido/a en su comunidad, organización o territorio. Todo líder o lideresa social se considera un defensor de derechos humanos (Indepaz, 2020).	Político y social
	Resguardos indígenas	Los resguardos indígenas son propiedad colectiva de las comunidades indígenas a favor de las cuales se constituyen. Conforme a los artículos 63 y 329 de la Constitución Política, tienen el carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables. Los resguardos indígenas son una institución legal y sociopolítica de carácter especial, conformada por una o más comunidades indígenas que, con un título de propiedad colectiva que goza de las garantías de la propiedad privada, poseen su territorio y se rigen para el manejo de este y su vida interna por una organización autónoma, amparada por el fuero indígena y su sistema normativo propio (Decreto 2164 de 1995).	Político y social

→

<b>Sectores</b>	<b>Actores</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nivel de participación</b>
Sociedad civil y comunitario	Organizaciones comunitarias de mujeres, campesinas, juveniles	Organizaciones sociales de base que centran su accionar en la restitución, protección y/o defensa de derechos, así como en el fomento del desarrollo comunitario, en sus dimensiones política, social y económica. (Ministerio de Salud, 2016)	Político y social
	Instituciones educativas: escuelas, colegios y universidades	Los colegios y escuelas son actores fundamentales, al ser escenarios por excelencia de aprendizaje, en el que los contenidos temáticos del módulo pueden aportar a sus propios contenidos, así como contar con profesores y rectores que participan en espacios comunitarios y locales. Cuentan con los proyectos ambientales escolares y con iniciativas que pueden ser de gran apoyo al fortalecimiento del proceso de monitoreo. Por su parte, las universidades juegan un papel fundamental en la educación superior y pueden divulgar la información a sus estudiantes, así como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y otros centros de formación técnica que se convierten en usuarios de la información resultado de este tipo de procesos comunitarios, así como en potenciales replicadores.	Investigativo y social
	Propietarios de predios estratégicos	Dueños de predios ubicados en áreas estratégicas para la conservación.	Investigativo y financiero
	Párrocos	Líderes de comunidades religiosas.	Social y político
	Líderes sin afiliación política	Líderes independientes.	Social y político
	Grupos étnicos en territorios colectivos	Comunidades negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.	Investigativo y social
	Áreas protegidas	Parques Naturales Nacionales (PNN), reservas de la sociedad civil, entre otros.	Investigativo y financiero
	Organizaciones no gubernamentales (ONG)	Organizaciones no gubernamentales que tienen como objetivo principal propender por el bien social.	Investigativo y financiero
Medios	Prensa, radio, televisión	Medios de comunicación convencionales.	Social
Sector productivo	Gremios	Asociaciones de pescadores, palmeros, ganaderos, agricultores y de otros gremios.	Investigativo y social

# Programa de monitoreo de biodiversidad y servicios ecosistémicos en el área de influencia de la contingencia del pozo Lisama 158

Caja 10.1

En 2018 se presentó un afloramiento de crudo que afectó secciones de la quebrada Lizama y el caño La Muerte en áreas rurales de Barrancabermeja y San Vicente de Chucurí, en Santander. Esta situación dio inicio a la implementación del Plan de Recuperación Ambiental (PRA) por parte de Ecopetrol S.A. Ese mismo año, el Instituto Humboldt realizó una caracterización de diferentes componentes de la biodiversidad, de los cuáles se eligieron peces, plantas, microorganismos y servicios ecosistémicos como objetos de monitoreo para un programa que se implementó entre 2021 y 2022.

**ACTORES IDENTIFICADOS.** Ecopetrol, como financiador, ANLA, como autoridad ambiental encargada del seguimiento al PRA, alcaldías de

cuatro municipios, gobernación, personerías, defensorías del pueblo, procuraduría provincial, juntas de acción comunal, asociaciones de pescadores, propietarios de predios de los cuerpos de agua afectados, escuelas, gremios productivos de palmeros y ganaderos, medios de prensa, y universidades.

**PRIORIZACIÓN DE ACTORES.** Teniendo en cuenta que en este caso el monitoreo de biodiversidad se dio tras una situación de impacto ambiental que afectó el cuerpo de agua base para diferentes actividades económicas, existió una gran diversidad de actores que se consideró deberían participar de la estrategia de comunicación (Tabla 10.2).

Priorización	Actores	Justificación
Alta	Ecopetrol S.A.	Además de ser el financiador, es el principal interesado en conocer los resultados para orientar el PRA.
Alta	Juntas de acción comunal, alcaldías, ANLA, propietarios de predios de interés y asociaciones de pescadores.	Son habitantes históricos del territorio y dependen directamente de los objetos de monitoreo para su bienestar. Son beneficiarios en diferentes niveles de la recuperación ambiental y veedores del proceso.
Media	Corporación Autónoma Regional de Santander, Gobernación de Santander, Alcaldía de Barrancabermeja, representantes de gremios productivos palmeros y ganaderos, medios de comunicación e instituciones educativas locales.	La CAS, la gobernación y la alcaldía podrían estar interesadas en conocer los resultados debido a que el área de trabajo se encuentra dentro de su jurisdicción y puede aportar información para la toma de decisiones. Para los gremios y las instituciones educativas, puede ser importante tener la oportunidad de acceder a la información que genera el monitoreo para aportar a la generación de nuevas iniciativas de monitoreo o de investigaciones que originen nuevos análisis y resultados. Los medios de comunicación pueden tener interés en divulgar la información, debido al contexto que rodea este monitoreo, y pueden ser aliados para buscar la continuidad del proyecto de monitoreo.

Tabla 10.2.

Priorización de actores en el monitoreo del PRA



Priorización	Actores	Justificación
Baja	Personerías, Defensoría del Pueblo, municipios, procuraduría provincial, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, líderes sin afiliación política y universidades.	Son actores que podrían tener interés en los resultados divulgados al final del proceso y pueden aportar a mantener la iniciativa de monitoreo en el tiempo.
Baja	Párrocos	Aunque los párrocos no están involucrados directamente en el proceso, entendiendo las dinámicas propias del contexto, estos son potenciales aliados para adquirir un papel de voceros de los resultados del monitoreo en sus respectivas parroquias, ampliando la cobertura de divulgación en escenarios no convencionales.

Caja 10.2.

## Monitoreo participativo en Montes de María

En el marco del proyecto “Implementación de variables esenciales de biodiversidad (VEB) para evaluación y monitoreo de la biodiversidad a nivel subnacional en Colombia”, financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (United States Agency for International Development - USAID) y la Academia Nacional de Ciencia de Estados Unidos, se implementó desde 2019 un esquema de monitoreo comunitario de VEB con tres asociaciones de campesinos de la región de Montes de María en el Caribe colombiano. En este proceso se propusieron siete protocolos de monitoreo para responder a las preguntas que se hicieron las asociaciones sobre su territorio. Estas preguntas están asociadas a conocer si las acciones de restauración y conservación que se han realizado están funcionando y a estudiar el impacto de las actividades productivas sobre el bosque seco tropical.

**ACTORES IDENTIFICADOS.** Asociación de Mujeres Unidas de San Isidro (Amusi), Asociación Integral de Campesinos de Cañito (Asicac), Asociación de Productores Agropecuarios de la Vereda Brasilar (Asobrasilar) y entidades como el Santuario de Flora y Fauna Los Colorados (Parques Nacionales Naturales de Colombia), quienes acompañaron los talleres de formulación del monitoreo comunitario.

**PRIORIZACIÓN DE ACTORES.** Este caso de monitoreo comunitario de biodiversidad estuvo a cargo de asociaciones de campesinos y productores, quienes lideraron actividades a escala veredal relacionadas con la conservación y restauración del bosque seco tropical, así como de producción sostenible. El monitoreo les permitió identificar colectivamente si sus metas y objetivos en el territorio están cumpliéndose en los plazos establecidos (Tabla 10.3).

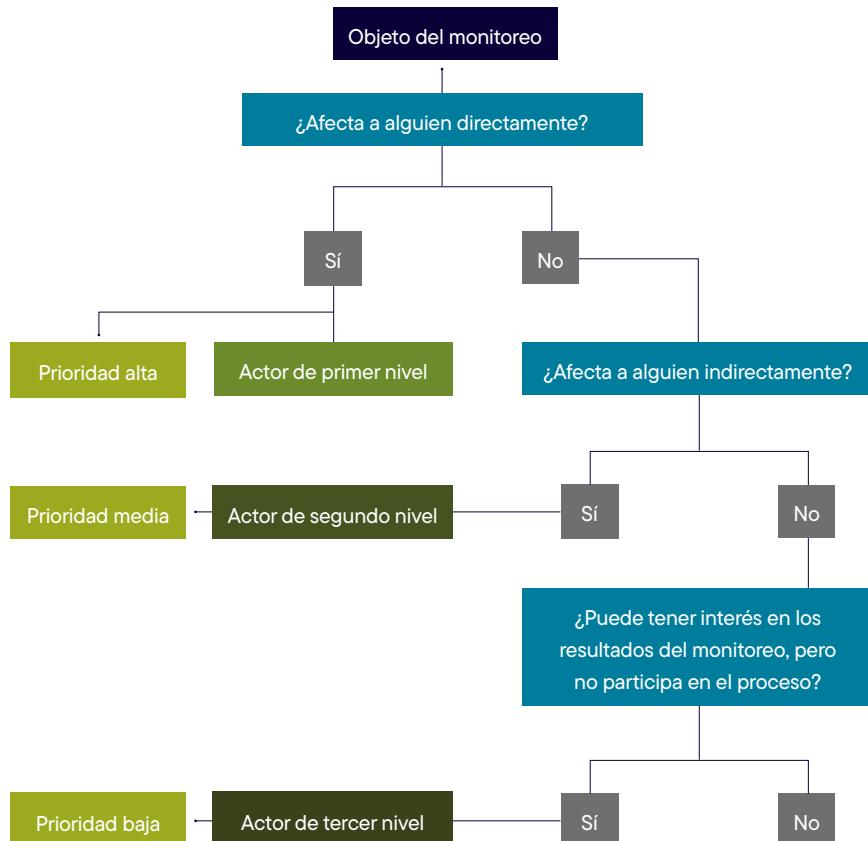
Priorización	Actor	Justificación	Tabla 10.3.
Alta	Asociación de Mujeres Unidas de San Isidro (Amusi), Asociación Integral de Campesinos de Cañito (Asicac) y Asociación de Productores Agropecuarios de la Vereda Brasilar (Asobrasilar).	Considerando que son quienes realizan el monitoreo, estos actores se conciben como unos de los principales interesados en conocer las dinámicas que puedan ser identificadas como resultado del proceso de monitoreo; están dispuestos a conocer más acerca de la biodiversidad de su zona y de cómo la implementación de buenas prácticas productivas beneficia al bosque seco y mejora el acceso a recursos y servicios.	Priorización de actores del monitoreo participativo en Montes de María
Alta	Comunidades de las veredas involucradas y aledañas, Juntas de acción comunal (JAC), escuelas, comités comunitarios (ganaderos, agrícolas), administradores y propietarios de núcleos de conservación privada, y reservas naturales de la sociedad civil (RNSC).	Tienen un papel esencial en la articulación dentro de los territorios para implementar y mantener el monitoreo. Se motiva la construcción y participación de redes de monitoreo, por lo que se busca que esta iniciativa sea socializada entre la comunidad (veredas) y a comunidades cercanas que puedan estar interesados en articularse.	
Media	Instituto Humboldt.	Es la institución que aloja los datos recolectados en el monitoreo y la encargada de retornar salidas gráficas accesibles para las comunidades, además de compartir con las entidades pertinentes los resultados que salgan del monitoreo. Hay un interés misional en la conservación del bosque seco tropical y se ha encargado del proceso de transferencia de capacidades a los grupos locales.	
Baja	Oficina de Parques Nacionales del Santuario de Flora y Fauna Los Colorados.	Ha participado en programas de educación ambiental implementados en escuelas y comunidades. Lidera una estrategia de monitoreo a objetos de conservación (mamíferos y plantas) para la zona y trabaja en comunicación comunitaria (Ecoparche), por lo que su papel en el monitoreo es circular la información y utilizarla en sus propias iniciativas.	
Baja	Fundación Botánica y Zoológica de Barranquilla, Corporación Desarrollo Solidario, Guardia Ambiental Colombiana, Corporación Autónoma Regional, Herencia Ambiental y Fundación Tierra Montemariana.	Han participado en programas educativos y de monitoreo en la zona, pero no han estado involucrados directamente en el proyecto; sin embargo, al ser actores regionales, es importante que conozcan los resultados del monitoreo para que tengan un mayor alcance en su comunicación con los habitantes de la región.	

Al revisar los casos de estudio surgen interrogantes, como de este grupo de actores, a quiénes se debe priorizar y cómo destacar o superponer un actor sobre otro. Estas preguntas se deben responder acorde con el objetivo del monitoreo y siempre deben ser el punto de partida para priorizar los actores de interés (Figura 10.1). Ya que se está entendiendo la comunicación como un ejercicio estratégico, esta debe ser planificada, estar dirigida a un público concreto y cumplir con un propósito claro que esté orientado a obtener resultados concretos: cambios en políticas, en las prácticas de una organización o en el comportamiento de una persona (CBD, 2018).

Se pueden priorizar los esfuerzos de comunicación acordes con el objetivo que se tenga, donde los directamente involucrados con el objeto de monitoreo sean los principales actores: el primer nivel. En el caso del proyecto de Lisama (Caja 10.1), Ecopetrol implementó durante dos años acciones del PRA y el Instituto Humboldt fue el encargado de monitorear diferentes componentes de la biodiversidad para evaluar su recuperación. En este caso, los pobladores cuyos medios y modos de vida fueron afectados directamente por el derrame durante varios meses, son los que más debían tener acceso a información sobre el estado de la biodiversidad. En los siguientes niveles debían estar otros actores que pudieran verse influenciados o afectados por determinados hallazgos. Por ejemplo, en el segundo nivel podrían

**Figura 10.1.**

Actores y su priorización para las comunicaciones



estar los propietarios de predios en cercanías a los cuerpos afectados por el derrame, las JAC y las escuelas, como espacios de convocatoria y discernimiento de ideas y reflexiones sobre el tema del monitoreo. En el tercer nivel podrían estar instancias departamentales, regionales y nacionales donde las autoridades sociales y ambientales (corporaciones autónomas, ANLA, Defensoría del Pueblo) también deberían conocer los alcances y resultados del monitoreo.

En el caso de Montes de María (Caja 10.2), se puede ver que el monitoreo partió de los intereses y necesidades de las asociaciones locales, por lo tanto, estas debían ser priorizadas en el componente de comunicaciones, al igual que las comunidades de las veredas involucradas y aledañas, JAC, escuelas, comités comunitarios (ganaderos, agrícolas), administradores y propietarios de núcleos de conservación privada y de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), quienes pueden convertirse en voceros y replicadores del proceso. En segundo y tercer nivel podían estar las organizaciones que cumplen roles a escala local, regional o nacional, que no son partícipes directas en el monitoreo, pero que potencialmente podrían estar interesadas en los resultados debido a las funciones que cumplen.

En conclusión, la priorización y segmentación de públicos son fundamentales, porque es en este punto donde se resalta el valor de los diferentes contextos y se puede encaminar el ejercicio de comunicación, desde una perspectiva global, como un proceso efectivamente transversal en que la diferencia es reconocida como elemento clave y enriquecedor para acciones como la construcción de mensajes, la selección de canales y la elaboración misma de productos. Este último es lo que, al final del proceso, facilitará que los actores consideren como legítima la labor de monitoreo y propendan por su sostenibilidad en el tiempo, básicamente porque las acciones no fueron impuestas a dichos públicos objetivo, en diferentes niveles de priorización —como ya se vio—, sino que estos también fueron concebidos como agentes responsables.

## 10.3. Construcción de mensajes claves

El mensaje ha sido un concepto presente siempre en la enumeración de los elementos que constituyen el proceso de comunicación, ya que es lo que permite construir conceptos (Restrepo, 1988). La construcción de mensajes clave se realiza tomando como base la priorización de públicos del paso anterior, ya que sin esta información no es posible diseñar un buen ejercicio de relacionamiento e intercambio de información, ideas, conocimientos y construcción de acciones conjuntas entre todos los involucrados de forma efectiva. Hasta cierto punto, cada mensaje involucra valores y creencias que ayudan a determinar cómo resuena dicho mensaje

en las personas y, a su vez, qué tanto las motiva (Underhill et al., 2020). Por eso es necesario que los científicos no pierdan de vista que, para que la comunicación sea efectiva, siempre es necesario reconocer las perspectivas de los diferentes actores que pueden hacer uso de la información de los proyectos para la toma de decisiones (Fischhoff & Scheufele, 2013). En línea con este último argumento, también es importante que los actores que participan directamente en el monitoreo siempre sean considerados con un papel activo, el cual implica involucrarlos en el proceso de comunicación desde el inicio del proyecto, reconociendo y propendiendo por la validación y la integración de los diferentes saberes (tradicionales, experienciales, científicos, etc.) que conviven en un territorio.

Para la generación de mensajes eficaces siempre será necesario reflexionar sobre el objetivo del monitoreo y considerar los conocimientos, actitudes y prácticas del público o públicos priorizados (CBD, 2018). Por lo tanto, debe entenderse que el mensaje va más allá de pensar cómo se quiere compartir las ideas más relevantes y, antes de entrar en canales, formatos y lenguajes, identificar cómo ese mensaje, en un contexto determinado, facilita o apoya el desarrollo de una experiencia de aprendizaje, es decir, una experiencia de cambio y enriquecimiento en algún sentido: conceptual o perceptivo, axiológico o afectivo, de habilidades o actitudes (Kaplún, 2002). En ese sentido, se deben atender los siguientes aspectos:

**1. ESTABLECER UN TONO COMÚN ENTRE LOS MENSAJES Y LA ORGANIZACIÓN.** Los mensajes deben concordar con los valores de la organización que está poniendo a circular la información o las ideas estratégicas sobre el proceso de monitoreo de la biodiversidad. Los mensajes también resultan ser un reflejo de la posición de la organización y respaldan la creación de una imagen con los actores con los cuales se establecen interacciones.

**2. CONSTRUIR UNA RELACIÓN ENTRE EL TONO DE COMUNICACIÓN Y LOS PÚBLICOS DE INTERÉS.** El mensaje siempre debe estar encaminado a conectar con las características del público objetivo, sus conocimientos, actitudes, nivel de educación, estilo de vida, interés e implicación (rol) en el proceso (CBD, 2018). Por esa razón, el equipo encargado de estructurar la estrategia de comunicación siempre debe propender por la participación activa y la asesoría continua del equipo técnico que realizó los análisis de datos (Capítulo 6) y la evaluación de indicadores (Capítulo 7). En los proyectos de monitoreo de biodiversidad, el equipo técnico es un actor fundamental para surtir tanto el proceso de construcción de mensajes —que llevará a transmitir con claridad y transparencia los resultados más relevantes del ejercicio de monitoreo— como los métodos a emplear para su obtención. Y es que, sin su conocimiento técnico, resulta muy difícil determinar si lo propuesto puede o no llegar a ser relevante para los actores, en parte también porque su vinculación activa garantiza la rigurosidad de la información en el camino de construcción de mensajes y su

posterior puesta en marcha en los formatos y canales respectivos. Esta parte del proceso incluye la selección de los contenidos o resultados que se quiere divulgar mediante una clara e innovadora visualización de datos (Capítulo 8) que contemple, de ser necesario, la comunicación del nivel de incertidumbre de la información producida durante las fases de análisis y síntesis, pues de esta manera se alienta una correcta interpretación y uso de la información por parte de los actores en sus diferentes niveles.

**3. IDENTIFICAR LOS OBJETIVOS DE LOS MENSAJES.** Si la finalidad principal de un mensaje es informar, este debe contener datos y resultados; por el contrario, cuando la finalidad principal es influir en las actitudes, el mensaje debe apelar a las emociones (CBD, 2018), reconociendo en qué medida aquello que se está compartiendo en efecto influye en la cotidianidad de los públicos de interés. Por lo tanto, en todo proceso de monitoreo que contemple la labor de la comunicación como un elemento transversal la identificación de qué se quiere comunicar y a quién(es) es, sin lugar a dudas, una de las acciones vitales para garantizar el éxito del proceso. “El mensaje es el espacio de entrecruzamiento en donde se dinamiza el proceso de comunicación. Es un conjunto aleatorio de operaciones, una combinatoria. No es lineal, no es un punto fijo; más bien es mezcla, amalgama. El mensaje es producción, no sistema, es algo que se hace, se construye, se crea. Es vehículo de sentido más que sentido en sí mismo” (Restrepo, 1988).

**4. DEFINIR Y CONSTRUIR UN PLAN DE ACCIÓN PARA ATENDER POSIBLES RIESGOS.** Desde la estructuración de la estrategia de comunicación hay que evaluar los riesgos de la misma en términos de los objetos de monitoreo y los públicos involucrados. Es importante preguntarse si los mensajes que se quiere comunicar ponen en riesgo a algunos de los actores involucrados en el proceso y si el o los objetos de monitoreo están en riesgo. En otras palabras, “se requiere de una comunicación planificada, que involucra el análisis de entornos, de riesgos y de amenazas, que permita la generación de un diagnóstico acertado y asertivo para calar con una visión estratégica que estampe la diferencia en dicho entorno” (Muñoz, 2006).

Esto último hace referencia a que, dentro de los proyectos, las entidades o los actores a cargo de liderarlos deben contemplar el manejo que se debe dar a las potenciales crisis de comunicación, donde también se deberá prever la voz que asumen todos los públicos involucrados. Esta es una labor que demanda un fuerte ejercicio de anticipación y para la que es necesario disponer de un conocimiento global del contexto (Capítulo 2) en el cual están inmersos los actores/públicos de interés, como base fundamental para prepararse ante potenciales crisis de comunicación o reputación que puedan afectar los ejercicios de monitoreo.

Cuando el mensaje está listo, y antes de proceder con su puesta en circulación, se deben considerar los siguientes aspectos adaptados de la lista de verificación propuesta por la CBD (2018):

- » Comprensión: ¿el público objetivo comprende los mensajes?, ¿hay riesgo de posibles malas interpretaciones de aquello que se va a comunicar?
- » Relevancia: ¿el público objetivo siente que los productos de divulgación son adecuados?
- » Notabilidad: ¿los productos de divulgación llaman la atención del público objetivo?
- » Memorable: ¿el público objetivo recuerda el mensaje después de un tiempo?
- » Credibilidad: ¿el público objetivo confía en el mensaje?
- » Aceptabilidad: ¿los productos de divulgación y mensajes conectan con los valores y la cultura del público objetivo?
- » Atractivo: ¿el público objetivo interactuaría con el material de divulgación producido?
- » Cambios en los conocimientos, las actitudes y las prácticas: después de estar expuesto a los productos de divulgación, ¿el público objetivo ha adquirido o ampliado sus conocimientos sobre el tema o ha cambiado sus actitudes o comportamientos asociados?

## 10.4. Canales, formatos y lenguajes

Una vez se tienen definidos los públicos y los mensajes, se procede a seleccionar los canales más efectivos para la puesta en circulación de los mensajes:

Aquí el olfato de un(a) buen(a) comunicador(a) entra en acción. Lo primero será tener un buen “banco” de experiencias, códigos, historias, imágenes que provienen de los propios destinatarios (esto es, de nuestros públicos de interés) como fuente de inspiración. Olores y sabores, costumbres y jergas, anécdotas y guiños culturales de todo tipo deben ser vistos como fuente de inspiración. Y junto a ello una gran creatividad, que es lo mismo que decir una gran capacidad para jugar. Juegos de palabras o de imágenes, juegos de sentido y sentires. Habrá que inventar historias, crear personajes, imaginar paisajes visuales o sonoros. Habrá que componer canciones, inventar juegos, escribir cartas o poemas. Habrá que animarse a romper moldes para que el mensaje no sea, una vez más, equivalente a sermón impreso o plomo audiovisual. (Kaplún, 2002)

En este momento del proceso siempre es imperativo determinar cómo puede llegar mejor el mensaje a los públicos objetivo, por lo que la elección de un canal para comunicar depende de los objetivos de la comunicación, las características del público objetivo, el mensaje, el presupuesto y la experiencia que se tenga con el medio de comunicación (CBD & UNEP, 2007; CBD, 2018). Para tomar decisiones sobre este punto, es importante considerar como punto de referencia general las siguientes preguntas propuestas por la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, 2018): ¿el canal ayuda a alcanzar el objetivo de la comunicación?; ¿ese medio es el más adecuado para alcanzar los objetivos de la comunicación?; ¿ese canal llega al público objetivo?, el canal que se utilice debería ser de fácil acceso para el público objetivo y tener credibilidad para este; ¿ese canal refuerza el mensaje?; ¿el canal se ajusta al presupuesto disponible?, el presupuesto es un elemento importante para decidir el canal de comunicación a implementar.

En la actualidad, existe una gran diversidad de canales de comunicación que van desde los medios convencionales o más tradicionales —sean estos impresos (como la prensa), sonoros (como la radio) y audiovisuales (como la televisión)—, hasta aquellos alojados en el mundo digital liderado por las dinámicas propias de las redes sociales en las que cada vez surgen más formas diferenciales de comunicar. Adicionalmente, existen un sinnúmero de formatos, como cartillas, videos y podcasts.

Por ejemplo, las redes sociales pueden llegar a muchos rincones y públicos, pero hay muchos lugares del país donde el acceso a internet es difícil o no existe y, por lo tanto, puede ser que otros canales de comunicación, como la radio, sean más eficientes y estén más fortalecidos en su uso dentro de la comunidad de un territorio específico. Por lo tanto, la elección del canal o canales de comunicación se debe explorar previamente con detenimiento, puesto que es clave para lograr que la transmisión de los mensajes tenga lugar de manera efectiva y en el momento requerido (Tabla 10.4).

## 10.5. Consideraciones finales

Hay que evitar los ejercicios de comunicación generalistas en la construcción tanto de los mensajes como de los productos, pues estos deben ser diferenciales para cada público y responder a las necesidades específicas del contexto y de quienes allí habitan. El argumento que sustenta esta afirmación es contundente: no existe una receta replicable en todos los escenarios, así como tampoco existe el “público general”; de ahí la necesidad de entender el ejercicio de comunicación como una labor de carácter estratégico.

El componente de comunicaciones es un elemento transversal y clave para la sostenibilidad del monitoreo, que por naturaleza es un proceso de largo plazo caracterizado por diferentes desafíos asociados con la permanencia en el tiempo

de los resultados obtenidos. En lo que concierne a la comunicación, dichos desafíos incluyen desde la identificación de actores clave hasta el diseño de mensajes y la puesta en circulación de los mismos como elementos que soportan la sostenibilidad del monitoreo, básicamente porque la comunicación resulta ser el vehículo más efectivo de intercambio, enriquecimiento y apropiación de ideas entre los actores involucrados.

Considerando lo anterior, uno de los grandes retos del componente de comunicaciones es el asociado con la generación de un plan de seguimiento con indicadores claramente definidos que permitan medir el impacto (positivo o negativo), así como la apropiación o uso cotidiano en el contexto real, si es el caso, de los mensajes por parte de los públicos objetivo en el mediano y largo plazo.

El proceso de construcción de los mensajes asociados o que son resultado del monitoreo es en sí mismo uno de los elementos clave para la sostenibilidad de dicha labor de monitoreo. Así pues, la construcción de mensajes implica la vinculación de los más diversos actores que participan en el proceso, desde equipo técnico hasta comunidades, para lograr que sean más asertivos y tengan un mayor impacto en los diferentes públicos objetivo: solo si las personas involucradas se sienten identificadas con aquello que se está comunicando y encuentran un punto de conexión con su cotidianidad se involucrarán efectivamente en el proceso, sintiéndolo como suyo, y trabajarán por su permanencia. Esta es la clave del éxito para garantizar perdurabilidad e impacto funcional real en el tiempo, y no solo durante el lapso en que un proyecto específico o entidad estén presentes en la zona como parte de ejecución de actividades particulares.

Así como siempre será necesaria la participación activa y la asesoría continua del equipo técnico que realizó los análisis de los datos e indicadores —esto es, actores expertos en las labores técnico-científicas—, también siempre será de suma relevancia considerar la inclusión de profesionales de comunicación con experiencia en el manejo de crisis reputacional. Por esta razón, no se puede olvidar que dentro de las estrategias de comunicación debe existir un apartado específico dedicado a la identificación y evaluación de los riesgos de la comunicación en términos de públicos involucrados y objetos de monitoreo.

Si bien cuando se diseña una estrategia de comunicación se contemplan, en su mayoría, las diferentes variables que pueden afectar puntualmente la efectividad de lo propuesto, se debe destinar tiempo, esfuerzos y un presupuesto específico a la atención de la(s) contingencia(s), como es usual en todos los proyectos, pero con un foco especial en aquellos que suponen riesgos desde la perspectiva del manejo comunicacional.

Dicho esto, contar con una hoja de ruta específica con lineamientos claros sobre cómo actuar y activar el protocolo de crisis reputacional es otro de los elementos vitales para el éxito del ejercicio de comunicación. Dicho protocolo debe incluir quién o quiénes son los voceros, qué tipo de cubrimiento y declaraciones se pueden entregar a la opinión pública, cuál es el momento oportuno para poner en circulación ciertos mensajes, entre otros.

Canal	Ventajas	Desventajas
Radio	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Cobertura amplia.</li> <li>» Es pública y de fácil acceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Si no se comunica de manera diferencial, puede no ser el mecanismo más efectivo de contacto con población joven.</li> <li>» La elaboración de programas requiere de equipo técnico y profesional con experiencia en narrativa radial para garantizar la ejecución de un producto de comunicación de impacto.</li> </ul>
Prensa escrita	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Cobertura amplia en ciudades y cascos urbanos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Puede ser costoso y requiere contactos de prensa (comunicadores sociales). Lo ideal en estos procesos es gestionar acciones de prensa libre (free-press), pero para ello siempre será necesario que del proceso se desprendan acciones consideradas como de carácter noticioso.</li> <li>» Públicos no habituados a la lectura o, incluso, personas que no sepan leer podrían no ser impactadas por el mensaje a comunicar.</li> </ul>
Televisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Cobertura amplia en canales públicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» La producción de programas de televisión o productos audiovisuales para su transmisión resulta ser costosa. Sin embargo, toda vez que se cuente con el producto audiovisual (estilo comercial corto), utilizando los espacios gratuitos dispuestos por la Autoridad Nacional de Televisión, se podría abarcar un público nacional en horarios estratégicos, solo en aquellos casos en que el mensaje y el público lo requieran.</li> <li>» Poco acceso a comunidades rurales.</li> </ul>
Redes sociales	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Cobertura amplia para áreas urbanas con conectividad a internet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Falta de acceso a internet o internet limitado en la mayoría del país.</li> <li>» Segmentos de públicos no habituados o poco familiarizados con las dinámicas digitales (aquellos que no son considerados como nativos digitales).</li> </ul>
Mensajería instantánea (WhatsApp, Telegram, Signal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Se pueden crear grupos de trabajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Falta de acceso a internet o internet limitado.</li> <li>» Segmentos de público no habituados o poco familiarizados con las dinámicas digitales (aquellos que no son considerados como nativos digitales).</li> </ul>
Ferias, festivales o encuentros en juntas de acción comunal	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Interacción directa.</li> <li>» Mayor participación de actores locales.</li> <li>» Construcción colaborativa y mayores oportunidades de transferencia de conocimientos entre diferentes actores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Posiblemente limitado al público local.</li> <li>» Alta inversión monetaria en eventos y material didáctico.</li> </ul>

Tabla 10.4.

Ventajas y desventajas de los canales de comunicación

# Referencias

- Baquer, M. A. (2001). 2500 años de estrategia: el paradigma militar. En A. Pérez (Ed.), *Estrategias de comunicación*. Ariel.
- Daza, S., & Arboleda, T. (2007). Comunicación pública de la ciencia y la tecnología en Colombia: ¿políticas para la democratización del conocimiento? *Signo y Pensamiento*, 25(50), 100-125.
- Delgado, M. (1990). Colciencias
- Fischhoff, B., & Scheufele, D. A. (2013). Introduction. En *The science of communication* (pp. 14031-14032). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.
- Hesselink, F. J., Goldstein, W., Van Kempen, M. P., Garnett, T., & y Dala, J. (2007). *La comunicación, educación y conciencia pública (CEPA). Una caja de herramientas para personas que coordinan las estrategias y planes de acción nacionales sobre diversidad biológica*. IUNC.
- Indepaz - Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz. (2020). Informe especial de registro de líderes y personas defensoras de DDHH asesinadas del 24/11/2016 al 15/07/2020.
- Kaplún, G. (2002). Contenidos, itinerarios y juegos. *Tres ejes para el análisis y la construcción de mensajes educativos*. VI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Investigadores de la Comunicación.
- Ministerio de Salud (2016). *Las organizaciones sociales y los procesos de incidencia, participación y gestión en marco del SND* [Cartilla de Trabajo].
- Muñoz Vásquez, K. (2006) Comunicación estratégica como ventaja competitiva de las organizaciones. *Fisec*, 2(3), 47-59.
- Pérez, R. (2012). The state of the art in strategic communication. *Spatial and Organizational Dynamics*, 10, 54-104.
- Restrepo, M. (1988). El mensaje: categoría de comunicación. *Signo y Pensamiento*, 7(12), 5-10.
- CDB - Convenio sobre la Diversidad Biológica (2018). *Guía práctica de CEPA, incluyendo consideraciones para el acceso y la participación en los beneficios*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <http://www.cbd.int>
- CDB - Convenio sobre la Diversidad Biológica, & UNEP - United Nations Environment Programme (2007). *Communication Strategy for Issues in NBSAPs*.
- Underhill, R., Migné, J., & Sinclair, C. (2020). *Positive communication toolkit. Conservation optimism*. <https://acortar.link/VMad9U>

# Legislación

Congreso de Colombia (2012). Ley 15516 de julio de 2012. Por la cual se dictan normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios.

Congreso de Colombia (1993). Ley 99 de 22 de diciembre de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Presidencia de la República de Colombia (2011). Decreto 3573 de 27 de septiembre de 2011. Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y se dictan otras disposiciones.

Presidencia de la República de Colombia (2011). Decreto 3570 de 27 de septiembre de 2011. Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Presidencia de la República de Colombia (1979). Decreto 1930 de 8 de agosto de 1979. De las juntas de acción comunal.

Presidencia de la República de Colombia (1995). Decreto 2164 de 7 de diciembre de 1995. Por el cual se reglamenta parcialmente el Capítulo XIV de la Ley 160 de 1994 en lo relacionado con la dotación y titulación de tierras a las comunidades indígenas para la constitución, reestructuración, ampliación y saneamiento de los resguardos indígenas en el territorio nacional.



Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Sostenibilidad en los procesos de monitoreo de biodiversidad

# 11.1. Introducción

Como se ha mencionado a lo largo del libro, un proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad debe continuar hasta que se logre el cumplimiento de los objetivos con los que fue propuesto. Aunque desarrollar de forma cuidadosa la fase de planeación contribuye a tener claro el alcance y tiempo de ejecución de un proyecto, existen retos inherentes al trabajo con sistemas socioecológicos, como el desconocimiento de los niveles de variación de los objetos de monitoreo debido a causas naturales y antrópicas, la falta de valores de referencia sobre las variables que se están monitoreando e incluso la incertidumbre acerca de qué tanto se van a involucrar diferentes actores, todo lo cual hace imposible prever exactamente cuándo se cumplirá el objetivo. Ante esta incertidumbre, es de vital importancia que desde el principio las estrategias de monitoreo estén acompañadas de una estrategia de sostenibilidad que permita asegurar los recursos necesarios para llevarla a buen término.

En este contexto, la sostenibilidad se entiende como la capacidad de mantener la continuidad de la estrategia de monitoreo hasta alcanzar los objetivos iniciales. La estrategia de sostenibilidad de un proyecto se fundamenta en tres pilares: sostenibilidad económica, social e institucional, aunque adicionalmente se deben tener en cuenta otros aspectos como el tecnológico y el cultural (Triquels, 2018). La estrategia de sostenibilidad será la hoja de ruta que garantice la continuidad del proceso y asegure que la propuesta sea realista en términos de su alcance (recursos, tiempo, temática y capacidades), que tenga el mayor impacto posible y que promueva oportunidades de articulación, coordinación y complementariedad con otras iniciativas, procesos y programas. Para tener una estrategia de monitoreo sostenible se deben tener en cuenta las oportunidades, obligaciones y riesgos económicos, institucionales y sociales particulares que surgen del contexto de cada proyecto.

Debido a la complejidad de los sistemas socioecológicos, generalmente se requiere de largos períodos de tiempo y grandes volúmenes de datos, tanto para entender los procesos ecológicos que generan los patrones de biodiversidad como para generar evidencia de cambios transformativos en los mismos. Por este motivo, tanto en la literatura asociada a la investigación ecológica como en los marcos de monitoreo de la efectividad de las acciones de conservación, restauración y uso sostenible, se hace el llamado a que se establezcan estrategias de monitoreo de biodiversidad a largo plazo, cuyos impactos pueden aparecer después de años o inclusive décadas de la implementación de acciones. Debido a que los tiempos ecológicos suelen ser lentos, en comparación con los tiempos legislativos y administrativos de financiadores y patrocinadores, se hace necesario diseñar acciones específicas que aseguren la sostenibilidad del monitoreo desde el principio del ciclo de monitoreo (Figura 1.3).

# 11.2. Aspectos clave de una estrategia de monitoreo sostenible

Para garantizar la sostenibilidad de las estrategias de monitoreo a largo plazo, se deben considerar diferentes aspectos. El primero de ellos tiene que ver con la cuidadosa planeación de los primeros pasos del ciclo de monitoreo, los cuales permiten tener claras las respuestas a preguntas como por qué y para qué voy a monitorear la biodiversidad, qué objetos y variables se van a monitorear, dónde y cuándo se van a hacer los eventos de monitoreo, cómo se van a medir las variables y quiénes van a participar en el proceso. Dentro de estos primeros pasos, es clave que el proceso transversal de gestión de datos e información quede claramente estructurado y que se haya formulado teniendo en cuenta el largo plazo.

Siempre que se formula un proyecto de monitoreo, pero especialmente cuando hace parte del seguimiento de metas de gestión de biodiversidad, es de vital importancia para el éxito de la estrategia que su alcance sea claro para quienes financian, apoyan, ejecutan e intervienen en el proyecto de acuerdo con sus distintas capacidades. Teniendo claro cómo la estrategia propuesta puede contribuir a las necesidades de información dentro de un contexto específico, se procede a planear una estrategia de sostenibilidad teniendo en cuenta la sostenibilidad financiera, institucional y social.

**SOSTENIBILIDAD FINANCIERA.** Muchos proyectos de monitoreo que inicialmente son concebidos a mediano o largo plazo terminan antes de lo esperado al no poder asegurar su viabilidad económica. Para conseguirla se debe fortalecer la capacidad de estructurar proyectos costoefectivos que sean atractivos para una gran diversidad de financiadores potenciales. A su vez, solo se puede construir un plan financiero sólido si se cuenta con un plan de trabajo claro, donde se estructuren las actividades, entregables y requerimientos necesarios para cumplir con el alcance definido (Capítulo 12). Es importante tener en cuenta los siguientes aspectos para planificar la sostenibilidad financiera de un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad:

- » Debe definirse claramente una pregunta o un conjunto de metas específicas, medibles, alcanzables, relevantes y con un horizonte temporal definido (*specific, measurable, achievable, realistic, time-bound - Smart*) (CBD, s.f) que orienten el proceso, y seleccionarse una batería de indicadores que permita medir de forma costoefectiva y contundente el progreso hacia esas metas. De esta forma, las instituciones financieras sabrán exactamente qué esperar del proceso.
- » El proyecto debe contar con un presupuesto realista que tenga en cuenta los altos niveles de incertidumbre que existen en relación con la variabilidad natural de muchos sistemas socioecológicos. Entre más heterogéneo y complejo sea el sistema que se estudia mayor inversión habrá que hacer en el monitoreo para obtener resultados confiables.

- » Se recomienda diversificar las fuentes de financiación de los proyectos, no solo en cuanto al número de financiadores, sino también en cuanto al tipo de organizaciones que apoyan las iniciativas.
- » Cuando se le planteen los objetivos y el alcance de una estrategia de monitoreo a una entidad financiadora, es importante exponer aquellos riesgos asociados que son específicos de los proyectos que involucran biodiversidad y que sea claro que pueden requerir una gestión administrativa más flexible o simplemente diferente de la otro tipo de proyectos.
- » En las etapas iniciales de los proyectos de monitoreo hay un periodo de alta vulnerabilidad durante el cual los costos superan los beneficios. Este periodo es crítico y requiere de una estrategia de apropiación social muy sólida que, apoyada en la estrategia de comunicación (Capítulo 10), permita asegurar la continuidad del monitoreo hasta que llegue el momento en que los beneficios justifiquen o excedan la inversión inicial.

Por ejemplo, Moussy y colaboradores (2021) encontraron que la cantidad de iniciativas de monitoreo de especies de largo plazo en un país es directamente proporcional a su PIB, ya que, en general, este refleja la disponibilidad de recursos públicos para inversión en biodiversidad. Por lo tanto, en países en vías de desarrollo, cada vez se recurre más a la inversión privada, sea por obligaciones ambientales o contribuciones voluntarias, para el financiamiento de estrategias de monitoreo y evaluación de biodiversidad. Sin embargo, para que este mecanismo sea viable a largo plazo, las estrategias deben demostrar que pueden medir de forma robusta los impactos de las acciones o eventos de interés respecto a diferentes componentes de la biodiversidad.

**SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL.** La voluntad, el compromiso y las capacidades institucionales de las entidades que participan en un proyecto de monitoreo son parámetros fundamentales y se deben considerar cuando se establece una hoja de ruta para la sostenibilidad. Debe tenerse en cuenta que las organizaciones están sujetas a constantes cambios de personal, de objetivos estratégicos e incluso de recursos disponibles (Lindenmayer & Likens, 2018). Estos cambios no son siempre negativos, ya que también pueden representar nuevas oportunidades; en todo caso, es preferible contar con planes de contingencia ante diferentes escenarios, especialmente cuando participan entidades dependientes de los ciclos de gobierno. Los siguientes son aspectos importantes a tener en cuenta para planificar la sostenibilidad institucional de un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad:

- » Como parte de la estrategia de comunicación, se debe invertir tiempo en asegurar que las instituciones clave para la sostenibilidad del proyecto se apropien de su importancia, recordando que el compromiso institucional a largo plazo va mucho más allá de la financiación.

- » Se debe propiciar la participación de una gran diversidad de actores en los proyectos de monitoreo, especialmente en los primeros años, durante los cuales los costos pueden superar los beneficios.
- » Es importante documentar los logros y fracasos en cada paso del monitoreo, garantizando que las lecciones aprendidas son de fácil acceso, para que, cuando entren nuevas personas al proceso, estas puedan construir sobre lo aprendido y no vuelvan a empezar de cero. El monitoreo no puede depender del liderazgo y entusiasmo de unas pocas personas, sino del compromiso de una o más instituciones (Vallejo & Gómez, 2017).
- » Durante la formulación del proyecto, es importante identificar claramente los riesgos, amenazas y oportunidades para la sostenibilidad de la estrategia a largo plazo, con el fin de proponer medidas para evitar, mitigar y manejar los riesgos y amenazas, mientras se potencializan las oportunidades.

**SOSTENIBILIDAD SOCIAL.** Se define como la promoción del bienestar de una comunidad mediante la comprensión y satisfacción de sus necesidades sociales, y como la preservación de sus valores culturales y espirituales (Karji et al., 2019). En un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad, este aspecto se comienza a abordar en el primer paso del ciclo de monitoreo, en el cual se identifican las comunidades que estarán involucradas o se verán afectadas por el proyecto (Capítulo 2). Los siguientes son aspectos importantes a tener en cuenta para planificar la sostenibilidad social de un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad:

- » Una vez han sido identificados los actores internos y externos que estarán involucrados en el proyecto, las estrategias de sostenibilidad social deben formularse teniendo en cuenta las necesidades específicas de cada grupo.
- » Esta estrategia deberá incluir la formación del recurso humano que participará directamente del proyecto, no solo porque de esta depende la obtención de datos de alta calidad, sino porque contribuye a agilizar procesos, aumenta la motivación y el sentido de pertenencia de los participantes, propicia la autonomía, permite la retención del capital humano y disminuye los costos a mediano y largo plazo.
- » Otro aspecto importante para conseguir el apoyo continuo al proyecto de monitoreo es la apropiación e involucramiento de los miembros de las comunidades presentes en el área del proyecto, independientemente de cuáles pasos del ciclo se vayan a dar o no en el marco de la ciencia participativa.
- » Los proyectos que involucran a la población local como socia principal desde su formulación no solo incrementan su probabilidad de éxito, sino que pueden tener impactos positivos que van mucho más allá de los objetivos iniciales. En particular, cuando las estrategias de monitoreo responden a necesidades identificadas por estas comunidades o se articulan a procesos ya establecidos en el territorio por y con las mismas, suelen ser más pertinentes, duraderos y efectivos.

Finalmente, es importante anotar que la estrategia de sostenibilidad debe hacer parte de las evaluaciones periódicas a los proyectos de monitoreo de biodiversidad. Para esto se diseñan indicadores que diferencian cada aspecto de la sostenibilidad que se haya contemplado durante la construcción de la estrategia (Capítulos 3 y 12).

## 11.3. Monitoreo adaptativo: de caracterizaciones esporádicas de biodiversidad a estrategias de monitoreo perdurables

En 2009, Lindenmayer y Likens resumieron las tres causas principales por las que fracasan los programas de monitoreo a largo plazo y propusieron un nuevo paradigma llamado monitoreo adaptativo. Según estos autores, la tasa de fracaso de las estrategias de monitoreo a largo plazo en Australia en ese momento era superior al 50 % y suponían que en otros contextos podría ser incluso más alta. Por lo anterior, sugirieron que entender las causas de estos fracasos debería ser el punto de partida para mejorar la probabilidad de éxito de dichas estrategias, haciendo énfasis en que “los atributos de la buena ciencia y, por lo tanto, la buena investigación, son a menudo los mismos que caracterizan una buena gestión ambiental” (2009).

Esta diferenciación artificial entre buena ciencia y buena gestión ambiental es probablemente uno de los principales problemas al abordar muchas estrategias de monitoreo, razón por la cual en este libro se enfatiza que la gestión ambiental debería considerarse como una actividad científica y realizarse con toda la rigurosidad que esto implica. De hecho, el ciclo de monitoreo no es más que una extensión y adaptación del método científico aplicado a la gestión de biodiversidad. Las causas mencionadas por Lindenmayer & Likens (2009) y Watson & Novelly (2004) son:

1. A menudo, las estrategias de monitoreo a largo plazo inician con oportunidades de financiación o directrices políticas a corto plazo, en lugar de estar

- respaldadas por preguntas y objetivos cuidadosamente planteados. En este contexto, suele suceder que primero se recopilan los datos y después se plantea la pregunta, lo cual disminuye sustancialmente la relevancia y utilidad del proceso.
2. Estrechamente relacionadas con el primer problema, se identificaron muchas estrategias que no contaban con una fase de planeación suficientemente cuidadosa. Esto era especialmente crítico en cuanto al diseño de muestreo, en donde, a pesar de ser un paso que requiere un alto nivel de conocimiento, tanto estadístico como del sistema de estudio, no se vinculaba a estos expertos a tiempo. El no contar con el personal adecuado en esta etapa llevaba a que en muchos casos no se contara con el poder estadístico para detectar los cambios en las variables e indicadores seleccionados o a que simplemente no fuera viable realizar los contrastes deseados entre tratamientos.

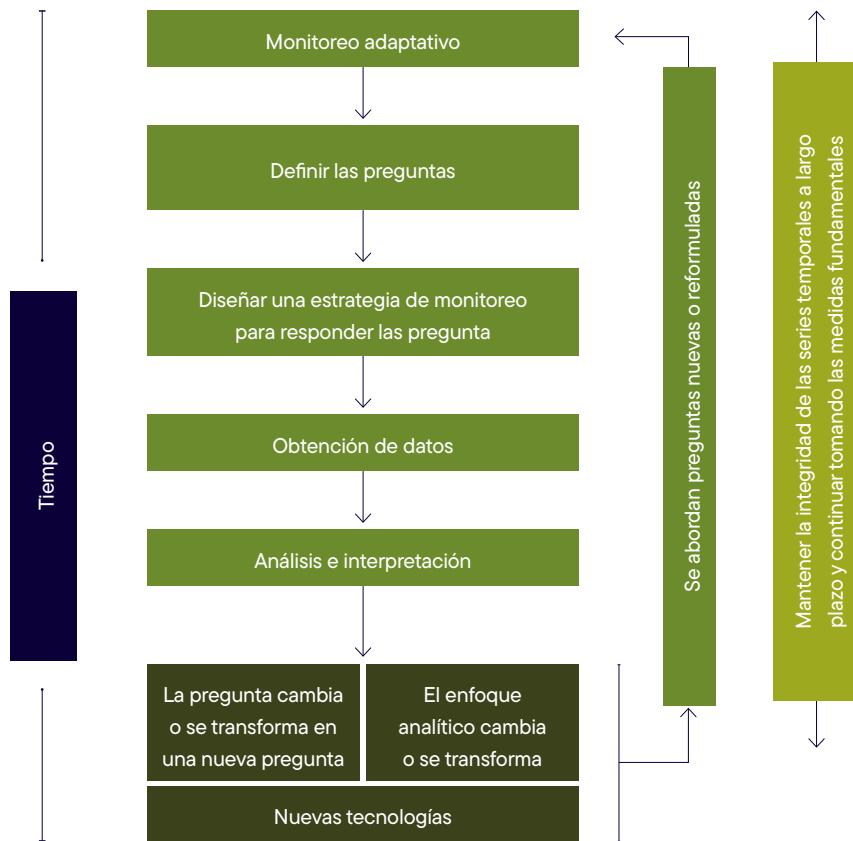
3. Otro problema común es que no siempre es fácil decidir y priorizar qué es lo que se debe monitorear y esta confusión termina en una extensa lista de objetos de monitoreo donde, en vez de medir bien pocas variables, se terminan midiendo muchas variables de forma menos rigurosa. A esto se suma que muchos proyectos no cuentan con modelos conceptuales que permitan establecer relaciones causales entre las intervenciones y las respuestas esperadas (Capítulo 3). Esto hace que los recursos y el tiempo nunca sean suficientes y compromete la continuidad de las estrategias en el tiempo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el monitoreo adaptativo consiste en establecer una estrategia de monitoreo basada en una o varias preguntas de investigación claramente definidas que se enmarcan en un modelo conceptual desarrollado explícitamente para describir las relaciones que se quiere entender (Caja 11.1). Con este esquema de trabajo, las preguntas pueden cambiar en el tiempo, así como la forma en la que se recolectan y analizan los datos, pero detrás de estos ajustes deben existir siempre garantías para la integridad de las series de datos a largo plazo (Figura 11.1).

Figura 11.1.

Esquema de monitoreo adaptativo

Fuente: adaptado de Lindenmayer & Likens (2009).

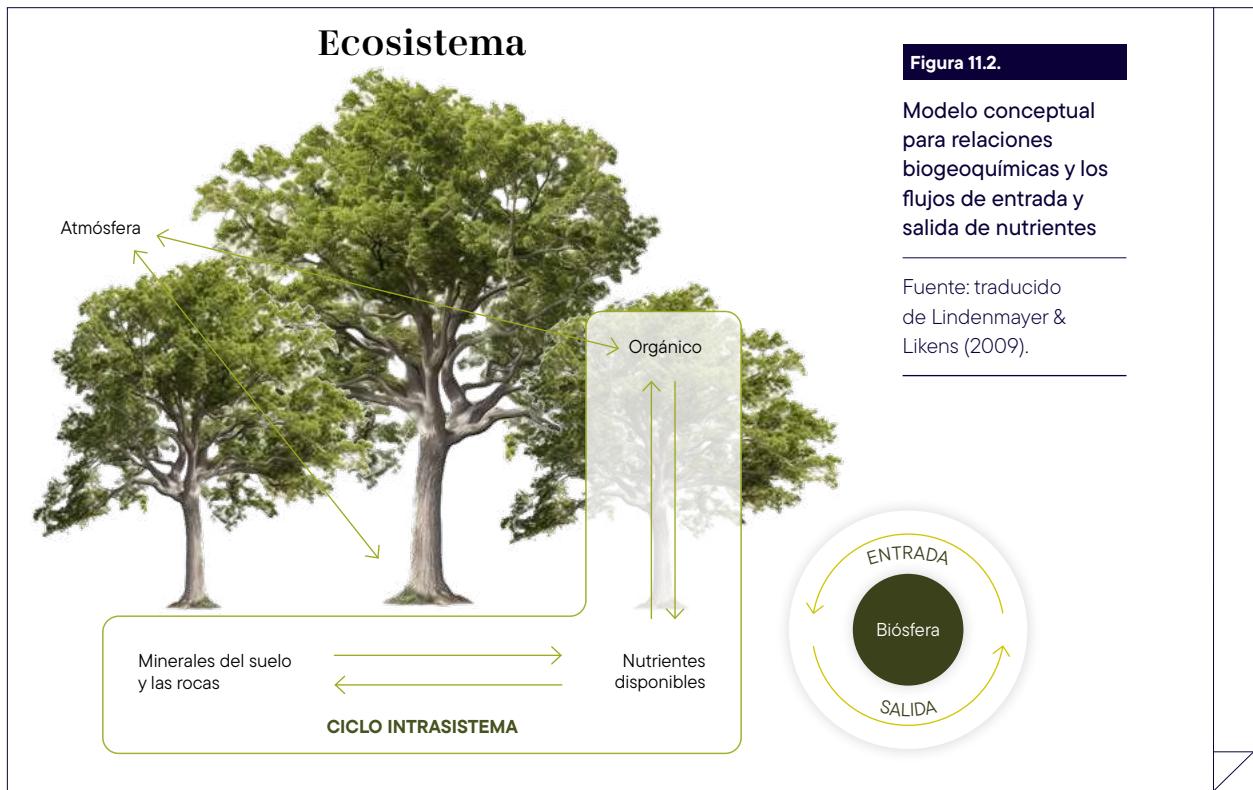


Caja 11.1.

## Importancia de los modelos conceptuales en el diseño de estrategias de monitoreo de biodiversidad

Un modelo conceptual sólido marca el norte del programa de monitoreo, por lo que en torno a él se formulan las preguntas de investigación. En la Figura 11.2 se presenta un ejemplo del modelo conceptual desarrollado por el Hubbard Brook Experimental Forest (HBEF) en New Hampshire, Estados Unidos (Lindenmayer & Likens, 2009). Este modelo permitió detectar pérdidas signifi-

cativas mediante agua de escorrentía deflaciones en suelos de ecosistemas forestales. Partiendo de este modelo conceptual y junto a un grupo interdisciplinario de trabajo conformado por científicos, estadísticos, formuladores de políticas y especialistas en recursos naturales, fue posible formular las preguntas adecuadas e implementar un esquema de monitoreo exitoso.



## 11.4. Lecciones de monitoreos de biodiversidad en Colombia

Entre 2013 y 2018, el Instituto Humboldt lideró y participó en varias iniciativas para conocer qué instituciones hacen monitoreo de biodiversidad en el país y cuáles son las características principales de estos proyectos (Vallejo y Gómez, 2017; Moussy et al., 2021). La mayoría de las iniciativas suelen ocurrir a escalas locales y durante períodos de tiempo cortos, lo cual impide que completen el ciclo y lleguen a la evaluación de indicadores de tendencias de la biodiversidad.

En Colombia, los proyectos que tienen mayor cobertura temporal acuden a cuatro estrategias principales para buscar su sostenibilidad: la generación de redes de trabajo, que incluyen la participación de muchos socios (Caja 11.2); los

mandatos oficiales, que ponen a instituciones a cargo del monitoreo de variables específicas (Caja 11.3); la ciencia participativa para conseguir que diferentes comunidades se apropien de los procesos de monitoreo (Caja 11.4); y la generación de estrategias de monitoreo por parte de empresas públicas o privadas de sectores que, además de tener que cumplir obligaciones ambientales, deciden incluir el componente de biodiversidad en sus aportes voluntarios (Caja 11.5).

## Monitoreo en redes de trabajo: Red BST-Col<sup>1</sup>

La Red de Investigación y Monitoreo del Bosque Seco Tropical en Colombia (Red BST-Col) es una iniciativa de investigación y monitoreo de este ecosistema a nivel nacional, articulada con redes latinoamericanas como DryFlor y globales como SECO Project o TropiDry<sup>2</sup>, preocupadas por la conservación de este ecosistema en riesgo de extinción. La red está conformada por más de cien investigadores nacionales de instituciones académicas, ONG, entidades gubernamentales y la sociedad civil, quienes, a través de generación de ciencia básica y la implementación de plataformas de monitoreo permanente, pretenden soportar la toma de decisiones en torno a su gestión integral en el país, así como promover la restauración de aquellas áreas que han sido degradadas y han perdido su funcionalidad ecosistémica. En la actualidad, la red cuenta con más de 50 sitios de monitoreo permanente de la biodiversidad y en el futuro espera orientar el cumplimiento de las metas del Programa Nacional para la Conservación y Restauración del Bosque Seco.

Esta iniciativa se viene implementando desde el 2013, con una frecuencia de monitoreo de cada dos años para los sitios permanentes de una hectárea a lo largo de gradientes ambientales y cronosecuencias en contextos de transformación. Adicionalmente, cuenta con un sitio de monitoreo a escala global “Megaparcela de bosque seco en La Guajira colombiana”, que se recensa cada cinco años, y sitios de estudio a escala de cuenca, que tiene una aproximación socioecológica a partir del monitoreo de la biodiversidad haciendo uso de ciencia participativa. Se proyecta que estos sistemas de monitoreo sean a largo plazo e ininterrumpidos.

La sostenibilidad de la Red BST-Col se basa en una agenda colaborativa interdisciplinaria e interinstitucional donde actores académicos, gubernamentales, ONG y la sociedad civil unen fuerzas y recursos financieros para construir una base sólida de conocimiento que soporte la toma de decisiones. Adicionalmente, la red mantiene una búsqueda continua de recursos para asegurar la continuidad del monitoreo en contextos regionales, nacionales y globales.

<sup>1</sup>Por Roy González-M. (Instituto Humboldt y Universidad del Tolima). Instituto Humboldt. Más información disponible en: <https://rebst-col.com/>

<sup>2</sup>Páginas web: DryFlor (<http://www.dryflor.info/>), SECO Project (<https://blogs.ed.ac.uk/secoproject/>), TropiDry ([www.tropi-dry.org](http://www.tropi-dry.org)).



Figura 11.3.

Implementación de protocolos de medición en parcelas permanentes de la Red BST-Col  
Actividades de medición de la Red BST-Col

Fuente: Foto de Felipe Villegas ©.

## Monitoreo por mandato oficial: Inventario Forestal Nacional de Colombia<sup>3</sup>

Caja 11.3.

El Inventario Forestal Nacional (IFN) de Colombia es una iniciativa a escala nacional que tiene como fin proveer información relacionada con la estructura, composición y diversidad florística, lo que permite identificar el estado y transformación de los bosques del país, información necesaria para la toma de decisiones en materia forestal. Para garantizar que los datos del IFN sean altamente confiables, en cabeza del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) se consolidó una metodología estandarizada que emplea un marco geoestadístico para la selección de una muestra probabilística de áreas. Durante un proceso de mejora continua, esta metodología se ha venido ajustando y

ha logrado la implementación en campo de conglomerados que permiten la caracterización de los ecosistemas boscosos.

Los datos que se están registrando a través de estos esquemas de colecta brindan información para alimentar los sistemas de información sobre biodiversidad y carbono en bosques de Colombia. El Instituto Humboldt ha tenido la responsabilidad de levantar en campo la información de las regiones Caribe, Andes y Orinoquia. Hasta el año 2022, ha implementado 529 conglomerados y 16 parcelas permanentes. La implementación en campo del IFN inició en el año 2015 y se ha continuado con el levantamiento de información durante los años 2016-2018, 2020-2022.

→

El IFN es un proyecto de interés nacional que busca la implementación de 1479 conglomerados, además del monitoreo quinquenal a estas áreas de muestreo. Para garantizar la sostenibilidad de esta iniciativa a lo largo del ciclo de implementación, se ha contado con dos fuentes de financiación: por un lado, a través del presupuesto general de Ideam y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y, por otro, a través de la cooperación internacional. El Ideam,

como entidad líder del IFN, propone múltiples estrategias para garantizar la sostenibilidad de esta iniciativa con la cooperación internacional y con base en una política del Departamento Nacional de Planeación y su Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes), además de la gestión de recursos con el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, y de regalías, vía impuestos y través de Conpes Crecimiento Verde.



Figura 11.4.

Realización de mediciones para el IFN en el municipio de Floresta, Boyacá en 2018

Fuente: Robert Rodríguez,  
Fundación Gaica.

<sup>3</sup> Por Daniel García-Villalobos, Instituto Humboldt. Más información en Ideam (s.f.).

## Monitoreo con ciencia participativa: Censo Neotropical de Aves Acuáticas<sup>4</sup>

Caja 114.

Esta iniciativa internacional busca contribuir al conocimiento y la conservación de las aves acuáticas y de los humedales en los países del neotrópico. Nace en 1990 como parte de los Censos Internacionales de Aves Acuáticas y actualmente participan en ella más de quinientos observadores de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Aunque Colombia se adhiere al CNAA en la década de los 90, solo desde 2002 el CNAA se realiza de forma regular y continua. En Colombia, el Censo Neotropical de Aves Acuáticas (CNAA) ha venido cobrando mayor importancia debido al esfuerzo coordinado que la Red Nacional de Observadores de Aves (RNOA) y otros grupos de censistas realizan cada año en las dos jornadas de febrero y julio. Este esfuerzo está articulado con la Estrategia Nacional para la Conservación de las Aves (ENCA) que constituye el marco de referencia para todas las acciones en pro de este grupo de biodiversidad.

La principal estrategia implementada para mantener el monitoreo a largo plazo ha sido vislumbrar el CNAA como un generador de conocimiento. Así, gracias a la participación voluntaria de más de trescientos observadores, se ha avanzado en el conocimiento de la avifauna acuática regional, municipal y local. La información recopilada en estos veinte años del CNAA se ha incluido en documentos nacionales, como el *Libro rojo de aves*, el *Libro de especies introducidas, exóticas e invasoras*; el *Libro de la biodiversidad migratoria: aves*, y el libro de *Aves acuáticas de Colombia*, entre otros. De igual forma, varios artículos locales y regionales han sido publicados por los censistas. Los datos obtenidos en esta iniciativa son de los censistas, de allí que se les invite a apropiarse y usarlos de la mejor manera, y aunque los datos primarios no están en línea se pueden solicitar por correo. Sin embargo, varios artículos del CNAA Colombia están en la red y parte de los datos están publicados en el SiB Colombia.



Figura 11.5.

Observadores de aves participando en el Censo Neotropical de Aves Acuáticas

Fuente:  
Calidris.

<sup>4</sup>Por Yanira Cifuentes-Sarmiento, Asociación para el Estudio y la Conservación de las Aves Acuáticas en Colombia (Calidris).

Más información en: <https://calidris.org.co/noticias-de-censo-neotropical-de-aves-acuaticas/>; <https://www.youtube.com/watch?v=yOFMSVgwfUo>

## Monitoreo desde sectores productivos<sup>5</sup>



Figura 11.6.

Bosque seco tropical monitoreado en La Guajira gracias a las estrategias de Cerrejón

Fuente: Daniel Dávila-Reyes.

La megaparcela permanente de diez hectáreas para el monitoreo ecológico del bosque seco tropical en La Guajira es la más grande para este ecosistema en el país y es un referente para el monitoreo a gran escala de la respuesta del ecosistema de bosque seco en contextos de cambio climático. Comprender la función y demográfica de las especies monitoreadas permitirá fortalecer los esquemas de restauración ecológica con enfoque adaptativo en La Guajira. El proyecto inició en agosto de 2019 y a la fecha se han registrado 17 913 individuos arbóreos pertenecientes a 115 especies, 91 géneros y 34 familias; 26 082 tallos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 2,5 cm, de las cuales 21 especies son registros nuevos para La Guajira, y se propone

hacer un seguimiento con una periodicidad de cinco años, por lo menos hasta el cierre de operaciones que a la fecha está definido para el año 2033 de acuerdo a la vigencia actual de la licencia.

Esta iniciativa surge como una estrategia voluntaria de la empresa Cerrejón para aportar de manera directa a la investigación y monitoreo del bosque seco tropical, razón por la cual hace parte de la Red BST-Colombia, por lo que es fundamental asegurar a través de la academia y otras instituciones a nivel regional y nacional la vinculación de esta iniciativa con bases globales de investigación y monitoreo de bosques (p. ej., Forest-GEO, Forest-Plot) y de esta forma asegurar recursos para su asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

<sup>5</sup> Por: Daniel Dávila-Reyes (Carbones del Cerrejón Limited) : Monitoreo de biodiversidad en el Cerrejón, megaparcela permanente de 10 hectáreas (ha) en bosque seco tropical, Cuchilla Potrosa, Serranía del Perijá, La Guajira. Más información disponible en: <https://www.cerrejon.com/sostenibilidad/medio-ambiente/biodiversidad>

## 11.5. Conclusiones

Cuando se inicia la implementación de un proceso de monitoreo de biodiversidad sin haber establecido una estrategia de sostenibilidad que lo acompañe desde la fase de planeación, se corre un alto riesgo de tener que detener el proceso antes de que se cumplan los objetivos que fueron propuestos. Esto no solo implica la pérdida de recursos financieros, personales y de tiempo en un proceso específico, sino que además puede predisponer a las organizaciones e individuos en contra de los procesos de monitoreo de biodiversidad en general.

Entre más complejo sea el contexto socioecológico en el cual se planea (Capítulos 2-4) e implementa (Capítulos 5-8) un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad, probablemente será mayor el tiempo que transcurre entre su inicio y el momento en que comienza a aportar información útil para la toma de decisiones en la gestión de la biodiversidad. Por lo tanto, se hace más importante tener en cuenta los factores financieros, institucionales y sociales que pueden comprometer la continuidad del proyecto y, en contextos específicos, deberán incluirse criterios adicionales.

La sostenibilidad de un proyecto de monitoreo se relaciona directamente con la gestión de datos e información (Capítulo 9), que es la que garantiza que los datos recolectados puedan convertirse en la información necesaria para que el proceso cumpla sus objetivos de forma oportuna y, de esta forma, se consiga el apoyo suficiente para garantizar su sostenibilidad. Por otro lado, la estrategia de comunicación (Capítulo 10) aporta directamente a la sostenibilidad de los procesos de monitoreo, porque ayuda a generar apropiación por parte de los actores involucrados en el proceso, mediante la generación de mensajes concretos que llegan a las audiencias priorizadas durante todas las etapas del ciclo. Finalmente, la sostenibilidad del proyecto es uno de los criterios a los que se les debe hacer seguimiento durante las evaluaciones periódicas, mediante un sistema de indicadores de gestión (Capítulo 12).

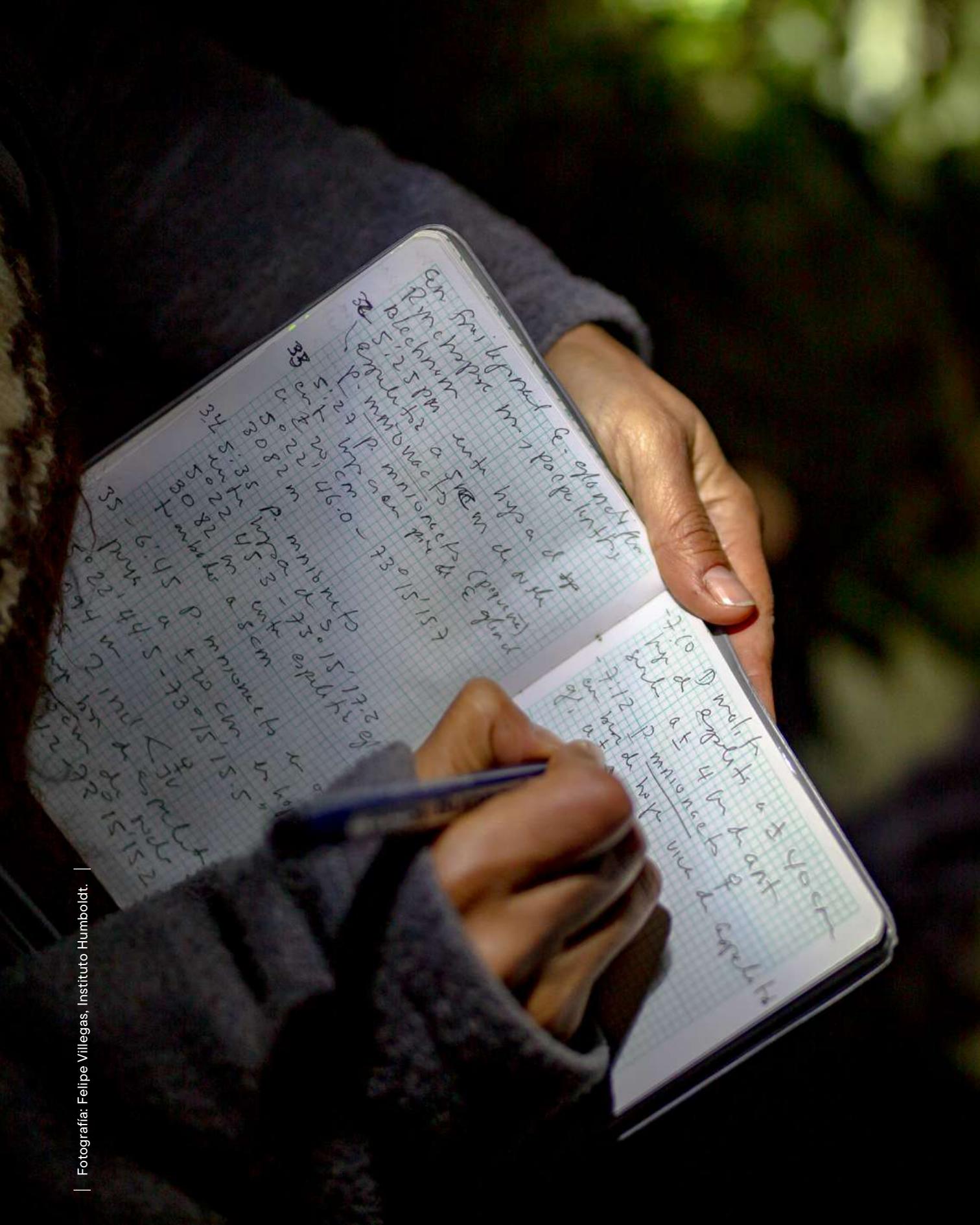
En países megadiversos como Colombia, en donde los recursos para hacer monitoreo de biodiversidad a largo plazo son escasos, es conveniente seguir el marco de monitoreo adaptativo y, además, aprender de aquellas iniciativas que han conseguido perdurar en el tiempo gracias a estrategias como las redes de colaboración, el monitoreo por mandato oficial, la ciencia ciudadana y el apoyo de los sectores productivos.

# Referencias

- CBD - Convenio sobre la Diversidad Biológica. (s.f.). Indicators for the post-2020 global biodiversity framework. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgjclefindmkaj/<https://www.cbd.int/sbstta/sbstta-24/post2020-indicators-en.pdf>
- Ideam - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Monitoreo de Bosques y Recursos Forestales – Ecosistemas. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/inventario-forestal-nacional>
- Karji, A., Woldesenbet, A., Khanzadi, M., & Tafazzoli, M. (2019). Assessment of social sustainability indicators in mass housing construction: A case study of Mehr housing project. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2019.101697>
- Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2009). Adaptive monitoring: A new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(9), 482-486. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.005>
- Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2018). *Effective ecological monitoring* (2 ed.). CSIRO.
- Moussy, C., Burfield, I. J., Stephenson, P. J., Newton, A. F. E., Buchary, S. H. M., Sutherland, W. ..., & Donald, P. F. (2021). A quantitative global review of species population monitoring. *Conservation Biology*, 36(1), e13721 <https://doi.org/10.1111/cobi.13721>
- Triquels (2018). *Estrategia de sostenibilidad: qué es y por qué tu negocio debería tener una*. <https://www.triquels.com/blog/estrategia-sostenibilidad-que-es>
- Vallejo, M. I., & Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/426>
- Watson, I. A. N., & Novelly, P. (2004). Making the biodiversity monitoring system sustainable: Design issues for large-scale monitoring systems. *Austral Ecology*, 29(1), 16-30. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01350.x>



Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.



# Planeación, seguimiento y evaluación de proyectos de monitoreo

# 12.1. Introducción

A partir de las lecciones aprendidas en el Instituto Humboldt, se sugiere que la implementación de la estrategia de monitoreo se estructure como un proyecto. Como todo proyecto, la planeación y la implementación debe tener un plan detallado para su ejecución que incluya alcance, cronograma y presupuesto. Al definir el alcance del proyecto se debe detallar su objetivo, los resultados esperados y todo el trabajo necesario para su consecución (Caja 12.1). Es importante no solo considerar el trabajo técnico requerido, sino también todo el trabajo de gestión, administrativo y logístico que es necesario para el logro de los objetivos.

Después de detallar el alcance, es fundamental definir con claridad el tiempo, el equipo humano y los recursos necesarios para llevar a cabo el trabajo, de manera que se pueda estructurar un cronograma y un presupuesto para la implementación del proyecto de monitoreo (Caja 12.2). Dedicar tiempo a la planeación del proyecto en todas sus dimensiones es un requisito fundamental para su éxito y, por suerte, actualmente existen diversas aplicaciones y software que facilitan dicha planeación (Caja 12.3).

Un proceso clave, pero con frecuencia olvidado en la implementación de proyectos de monitoreo de biodiversidad, es la gestión del riesgo. Al implementar el proyecto, el equipo de trabajo puede enfrentar situaciones difíciles que pueden impedir el logro de los objetivos propuestos. Por esta razón, antes de iniciar la ejecución de un proyecto, es una excelente práctica identificar todos los riesgos potenciales a los que se puede enfrentar el equipo de trabajo, analizarlos y establecer medidas para evitarlos o responder a ellos, en caso de que se materialicen (Caja 12.4).

Caja 12.1.

## Cómo definir el alcance de un proyecto de monitoreo de biodiversidad

El alcance se detalla mediante la definición clara del objetivo, los resultados esperados, entregables o productos, y las actividades a desarrollar durante el diseño y ejecución del programa de monitoreo y evaluación de biodiversidad. Cada actividad puede

subdividirse cuantas veces sea necesario para detallar el alcance. No siempre se trata de actividades puramente técnicas y, al detallar el alcance, es importante incluir todas aquellas tareas de gestión o logísticas necesarias para construir cada entregable. Retomando

el ejemplo de la Caja 1.1 (Capítulo 1), se muestra un ejemplo simplificado de cómo definir el alcance de un proyecto orientado a proveer información a las comunidades de un municipio que están preocupadas por sus humedales y necesitan definir estrategias de conservación, restauración y uso sostenible.

**OBJETIVO DEL PROYECTO.** Proveer la información necesaria para realizar una evaluación del estado y tendencias de los humedales del municipio cada dos años.

### **Fase 1: planeación de la estrategia de monitoreo**

**ENTREGABLE 1.** Informe con el análisis del contexto territorial de los humedales del municipio y la identificación de necesidades y vacíos de información.

- » **Actividad 1.** Recopilar, procesar, analizar y sintetizar información secundaria del área de estudio.
- » **Actividad 2.** Elaborar el mapa de actores que se relacionan con los humedales del municipio.
- » Etc.

**ENTREGABLE 2.** Documento con la estrategia de monitoreo y el diseño del muestreo.

- » **Actividad 1.** Definir los objetos de monitoreo, las variables e indicadores a los que se les hará seguimiento en el tiempo.
- » **Actividad 2.** Definir el rol que cada actor va a cumplir en la ejecución de los pasos del ciclo de monitoreo.
- » Etc.

### **Fase 2: implementación de la estrategia de monitoreo**

**ENTREGABLE 3.** Conjunto de datos recolectados en los dos primeros años de monitoreo.

- » **Actividad 1.** Realizar las salidas de campo para recolectar información en el año 1.
- » **Subactividad.** Hacer una visita previa al área de trabajo para identificar empresas de transporte terrestre y personas de la comunidad a contratar como auxiliares de campo.
- » **Subactividad.** Gestionar la contratación de los servicios de transporte y los auxiliares de campo.
- » Etc.

**ENTREGABLE 4.** Informe con los resultados de los primeros dos años de monitoreo.

- » **Actividad 1.** Analizar los datos recolectados en los dos primeros años de monitoreo.
- » **Actividad 2.** Evaluar los indicadores de estado y tendencia a la luz de los objetivos ambientales del municipio.
- » **Actividad 3.** Elaborar productos de visualización de los resultados de la evaluación.
- » Etc.

**ENTREGABLE 5.** Memorias de los eventos de divulgación de los resultados con la comunidad del municipio según la estrategia de comunicación.

- » **Actividad 1.** Realizar un taller de divulgación de los resultados de la evaluación del estado y tendencias con las comunidades del área de influencia de los humedales.
- » Etc.

## Información práctica para gestionar cronograma

Para la gestión del cronograma de un proyecto se da información práctica en los siguientes enlaces:

- » Estructura de Descomposición del Trabajo - EDT (Asana, 2021b).
- » Diagrama de Gantt y cómo usarlo para visualizar el cronograma de un proyecto (Asana, 2022).

» La ruta crítica en la gestión de proyectos es ese grupo de actividades consecutivas que determinan la duración total del proyecto, un retraso en alguna de las actividades de la ruta crítica genera un retraso en todo el proyecto (Asana, 2021a).

## Software de gestión de proyectos

Cuando Excel no es suficiente, están disponibles algunos software para la gestión de proyectos, como:

- » Zoho Projects. <https://www.zoho.com/exl/projects/>

- » TeamGantt. <https://www.teamgantt.com/>
- » Asana. <https://app.asana.com/-/login>
- » Project Office. <https://www.microsoft.com/eso/microsoft-365/project/project-management-software?ms.officeurl=project&rtc=1>

## Riesgos potenciales en proyectos de monitoreo de biodiversidad

Los siguientes son algunos riesgos potenciales que presentan los proyectos de monitoreo de la diversidad:

- » Los objetos de monitoreo elegidos no son sensibles a los cambios que se quieren detectar y, por lo tanto, el proyecto no cumple con las expectativas con las que se formuló.
- » Se selecciona como objeto de monitoreo una especie en peligro y durante su estudio aumenta la presión sobre la misma.
- » Se pierde la continuidad en la serie de datos, por problemas para acceder a puntos de muestreo en algún evento de muestreo.

- » Imposibilidad de continuar con el monitoreo, por falta de recursos.
- » Las comunidades del área de estudio impiden que el proyecto continúe, porque no se les incluyó de la forma correcta desde el principio.
- » El ejercicio del monitoreo hace más visibles y pone en peligro a los líderes comunitarios ambientales que participan en el proceso.

Para la gestión del riesgo en los proyectos Asana (2023) contempla varios siguientes pasos. EdX (s.f.) ofrece un curso gratis en gestión de riesgos de proyectos.

## 12.2. Seguimiento y evaluaciones periódicas

El seguimiento y las evaluaciones periódicas permiten saber si un proyecto va por el camino correcto. Si se cuenta con un plan detallado para la ejecución del proyecto de monitoreo, ya se ha trazado la ruta que guiará al equipo de trabajo a lo largo del camino. Sin embargo, una vez se inicia la ejecución, es necesario contar con un sistema de seguimiento y evaluación que permita establecer si el proyecto va por la vía correcta o si se debe modificar algún componente del plan, para así mejorar las probabilidades de alcanzar el objetivo y obtener los resultados esperados dentro del tiempo proyectado y con el presupuesto disponible.

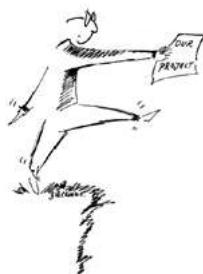
**SEGUIMIENTO.** Medición, a lo largo del proyecto, del avance de las actividades y entregables asociados a cada una de las fases y etapas del ciclo de monitoreo, así como de los recursos que se han utilizado en el mismo. El seguimiento permite hacer una comparación entre lo planeado y la ejecución real del proyecto, de manera que se evidencie si se está en el camino correcto para completarlo a tiempo y dentro del presupuesto disponible (ProjectManager, s.f.). En la siguiente sección se presenta una metodología usada comúnmente para el seguimiento de proyectos.

**EVALUACIÓN.** Valoración sistemática y objetiva que le permite conocer a todos los interesados si el proyecto está cumpliendo sus objetivos y si lo está haciendo de forma costoefectiva y sostenible. Las evaluaciones que se realizan de forma periódica durante la duración de un proyecto buscan brindar información que permita hacer ajustes para mejorar su costoefectividad y sostenibilidad. La evaluación final permite concluir si se lograron los objetivos planteados e identificar lecciones aprendidas para futuros proyectos de monitoreo y evaluación de la biodiversidad en contextos similares.

### 12.2.1. Alternativas para medir que un proyecto va por buen camino

La gestión del valor ganado (*earned value management*) es un método que permite hacer seguimiento al progreso de un proyecto, integrando alcance, tiempo y recursos, y comparar la ejecución real del proyecto con lo que se planeó en un principio, lo que brinda insumos para tomar decisiones que aseguren el éxito del proyecto (Ambriz, 2008). Como ejemplo hipotético, en un proyecto de moni-

Estoy seguro que nuestro proyecto va en la dirección correcta...



toreo de biodiversidad se planea realizar una salida para recolectar información biológica en el primer año, es 30 de septiembre y se quiere saber si esta actividad se está llevando a cabo de acuerdo con lo planeado. A lo largo del proyecto el equipo se ha asegurado de registrar diferentes métricas del progreso del proyecto y está listo para implementar el método del valor ganado para saber si va por el camino correcto o si debe hacer algún ajuste para completar el proyecto a tiempo y dentro de los recursos disponibles.

Para empezar, se deben asegurar tener a la mano la información sobre el tiempo y el costo que se había planeado inicialmente para realizar la salida de campo. De acuerdo con el plan, la salida debía realizarse entre julio y septiembre del primer año y se tenía planeado un costo mensual de \$ 10 para un total de \$ 30 gastados al 30 de septiembre. Se ha venido haciendo seguimiento y se sabe que la salida no inició en julio, sino en septiembre, y que para esta actividad se han gastado hasta el momento \$ 10 (Figura 12.1).

Con esta información se pueden calcular los indicadores de desempeño (Key Performance Indicators - KPI) (Figura 12.2). Para esto primero se calcula el porcentaje de avance de la salida de campo hasta la fecha de corte (33,33 %) y se multiplica por el costo total de la salida de campo (\$ 30), así se sabe que el valor ganado a la fecha de corte es de \$ 10.

Existen dos KPI que se deben conocer: el índice de desempeño del cronograma (schedule performance index - SPI) y el índice de desempeño del costo (cost performance index - CPI). El SPI indica qué tan retrasada o adelantada está la ejecución del proyecto en comparación con lo planeado inicialmente. Un SPI de 1 significa que se están ejecutando las actividades en el tiempo planeado,

Figura 12.1.

Ejemplo de cálculo del valor ganado\*

\* Se muestra lo planeado versus la realidad de una salida de campo para levantar información para un programa de monitoreo.

Lo planeado...	Fecha de corte: 30 de septiembre						
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Realizar la salida de campo para recolectar la información del año 1							
% de ejecución de la actividad previsto a la fecha de corte				100 %			
Costo mensual previsto de la actividad		\$ 10	\$ 10	\$ 10			
Total previsto a la fecha de corte				\$ 30			

La realidad...	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Realizar la salida de campo para recolectar la información del año 1							
% de ejecución real de la actividad a la fecha de corte				33 %			
Costo mensual real de la actividad				\$ 10			
Total gastado a la fecha de corte				\$ 30			

un SPI menor a 1 quiere decir que se tiene un retraso y un SPI mayor a 1 muestra que el proyecto va adelantado respecto a lo planeado inicialmente. El CPI indica si se está gastando más de lo previsto para el trabajo ejecutado hasta la fecha o si se está gastando menos de lo previsto. Si el CPI es igual a 1, significa que el trabajo que se ha hecho ha costado lo que se tenía planeado, un CPI menor a 1 implica que se ha gastado más de lo planeado y un CPI mayor a 1 muestra que se está gastando menos de lo previsto.

En la salida de campo, se tiene un SPI de 0,33, lo que indica que a la fecha de corte se tiene un retraso importante en el cronograma, esto envía una alerta: se debe revisar qué causó el retraso y buscar qué medidas de contingencia se pueden implementar para asegurar que el proyecto se complete a tiempo. El CPI, por el contrario, tiene un valor de 1, lo que indica que el trabajo realizado está costando lo que se había previsto y se debe continuar el seguimiento para saber si continúa por buen camino (Figura 12.3).

Se puede usar un diagrama (Figura 12.4) para mostrar el estado del proyecto a la fecha de corte. Además de los índices de desempeño, la gestión del valor ganado permite hacer predicciones de los costos futuros del proyecto. Para mayor información se recomienda consultar a Ambriz (2008).



Fuente: Key Performance Indicators.

Figura 12.3.

Un cálculo de indicadores de desempeño

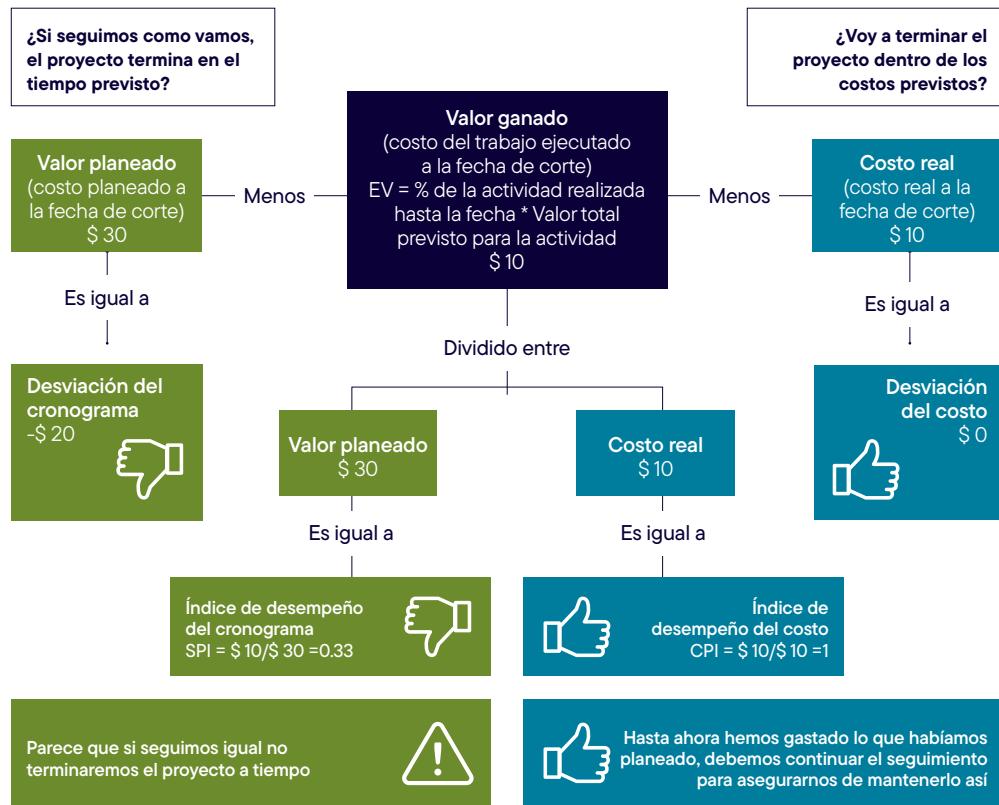
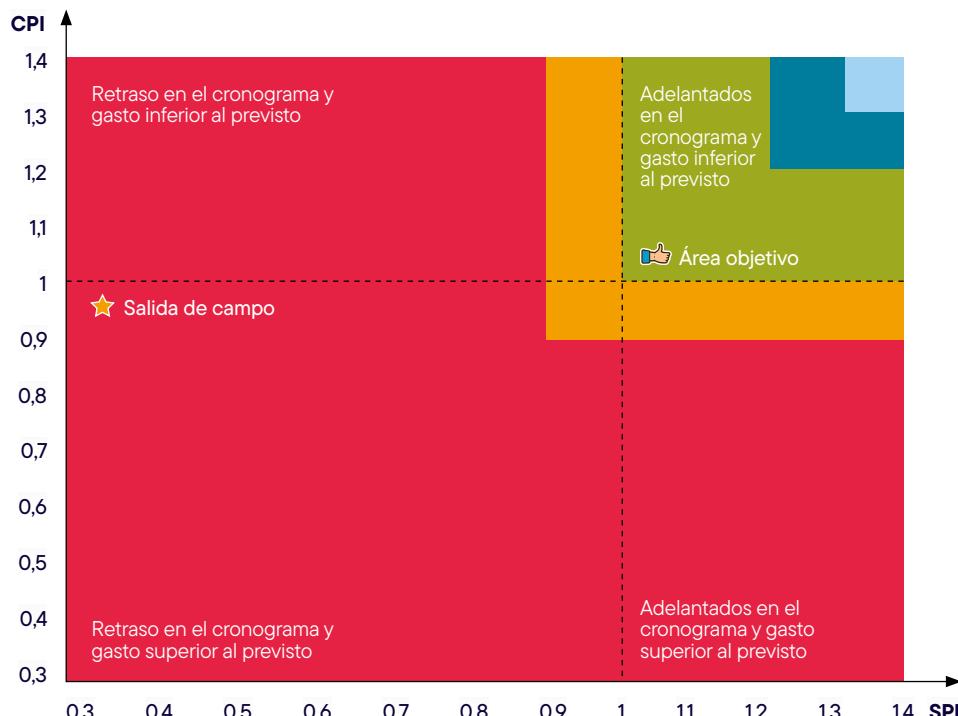


Figura 12.4.

Estado del proyecto a la fecha de corte\*

\* Diagrama que permite comparar el resultado de los indicadores de desempeño de cronograma (SPI) y de costo (CPI) para entender el estado del proyecto. La estrella representa el estado actual de la salida de campo del ejemplo.



## 12.2.2. Importancia de evaluar el proyecto de forma periódica

En un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad es importante no solo saber si se está avanzando en las actividades y entregables de acuerdo con lo planeado, sino realizar evaluaciones periódicas que permitan saber si se están logrando los objetivos propuestos de manera costoefectiva y sostenible. Estas evaluaciones deben ser periódicas y todas las evaluaciones intermedias deben ser útiles para redireccionar el proyecto de monitoreo de manera que entre en un ciclo de mejoramiento continuo. A grandes rasgos, para evaluar un proyecto de monitoreo de biodiversidad se pueden implementar los siguientes pasos:

1. Diseño del seguimiento y evaluaciones periódicas al proyecto.
2. Recolección de información e implementación de evaluaciones.
3. Análisis, síntesis y divulgación de resultados de las evaluaciones a los actores interesados.

El primer paso debe ocurrir durante la fase de planeación del proyecto e implica definir los criterios de la evaluación, los métodos que se usarán para hacerle seguimiento al progreso en cada criterio y quiénes serán los responsables de implementar dichos métodos. El segundo y tercer paso deberán ocurrir de manera continua durante la fase de implementación y hasta que termine el proyecto. Es importante definir cómo se involucrará a los actores interesados en el proceso de evaluación y cómo se divulgarán los resultados, tanto de las evaluaciones periódicas como de la evaluación final. Por lo tanto, este proceso de seguimiento y evaluación es transversal a todo el ciclo de monitoreo y se relaciona profundamente con los demás procesos transversales.

A continuación se sugieren seis criterios que se consideran muy importantes para orientar la evaluación de los proyectos de monitoreo de biodiversidad y se incluyen una serie de preguntas orientadoras para cada uno. Por supuesto, este capítulo no es la guía última de la gerencia de proyectos y existen en línea muchos recursos que pueden ayudar a los responsables a construir evaluaciones que tengan sentido de acuerdo con el contexto de cada iniciativa (OECD, s.f.). En la Caja 12.5, se muestra un ejemplo de resultados de una evaluación cualitativa del proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad discutido anteriormente, pero, según las necesidades, este proceso también se podría aplicar de manera cuantitativa.

A. RELEVANCIA. Una iniciativa de monitoreo y evaluación de biodiversidad es relevante en la medida en que responda a las necesidades de información de los actores involucrados. Estas necesidades pueden cambiar con el tiempo;

de ahí la importancia de evaluar de forma periódica si las estrategias implementadas y la información que generan siguen siendo relevantes. Es imposible conocer la relevancia del proyecto si no se evalúa de forma participativa con los actores clave identificados desde el inicio como usuarios de los datos, información y conocimiento producido. Las siguientes preguntas son muy importantes a la hora de evaluar la relevancia del proceso:

- » ¿Cómo se alinea el proyecto de monitoreo con las necesidades de información de los actores involucrados?
- » ¿La información producida por el monitoreo puede ser usada en evaluaciones de biodiversidad que generen conocimiento oportuno para los tomadores de decisiones?
- » ¿Los actores involucrados perciben los resultados del proyecto como útiles para las decisiones que deben tomar y desean continuar participando y apoyando la iniciativa?

B. EFECTIVIDAD. Las evaluaciones periódicas deben permitir identificar: la causalidad entre el diseño de muestreo; la calidad de los datos recolectados; la ruta de análisis, síntesis y divulgación de indicadores; y, finalmente, el logro de los resultados y objetivos esperados. Con esta visión, se pueden identificar falencias en el diseño del programa de monitoreo que permitan su reformulación para asegurar su efectividad. Las siguientes preguntas son muy importantes a la hora de evaluar la efectividad del proceso:

- » ¿El programa de monitoreo está cumpliendo con los objetivos planteados?
- » ¿El diseño de muestreo y la ruta planteada para la recolección, análisis, síntesis y divulgación de indicadores aseguran el logro de los resultados esperados?
- » ¿Se puede hacer algún ajuste en el proceso de monitoreo para aumentar la efectividad del mismo?
- » ¿Existen factores internos o externos que puedan estar influenciando de manera inesperada el logro de los objetivos del proceso de monitoreo?

Dado que el diseño de muestreo (Capítulo 4) y la recolección de datos (Capítulo 5) son los dos pasos más críticos para asegurar la calidad de los datos, existen diferentes tipos de pruebas estadísticas que permiten evaluar sus resultados durante cada vuelta del ciclo de monitoreo. Por mencionar algunos ejemplos, los análisis de poder estadístico permiten saber si los tamaños de muestra recolectados son suficientes para detectar cambios en las variables de interés, los análisis de representatividad por especies permiten saber si las muestras incluyen la mayoría de las especies comunes y algunas de las especies raras de una comunidad, los análisis de representatividad espacial permiten saber si el muestreo realmente está cubriendo los gradientes de heterogeneidad de interés en el estudio, los

análisis de autocorrelación espacial y temporal permiten ver si las muestras realmente son independientes y los análisis de sensibilidad permiten ver qué tanto cambian los resultados de un modelo o escenario cuando se cambian los valores de las variables con base en las cuales se calculan. El tipo de análisis que se elija, así como la periodicidad y momento en que se ejecute, dependen del tipo de datos y metodologías seleccionadas previamente. Se recomienda a los lectores asociarse con expertos en el diseño y análisis de datos de su sistema de estudio para la planeación y aplicación de estos chequeos de calidad.

Por otro lado, al evaluar la relevancia de las estrategias de monitoreo, es importante identificar aquellos factores internos o externos que pueden estar afectando su efectividad, incluyendo aspectos logísticos, financieros, sociales, conformación del equipo de trabajo, etc. Identificar estos factores llevará a tomar medidas que aumenten la efectividad de las estrategias (OECD iLibrary, s.f.).

C. EFICIENCIA. Se define como la transformación de recursos en resultados o, en términos económicos, la transformación de costos en beneficios (BMZ, 2011). Para el caso de un programa de monitoreo y evaluación de biodiversidad, al evaluar la eficiencia se está evaluando si los recursos económicos (por ejemplo, los costos asociados a la contratación de personal, la compra de equipos e insumos y los gastos de las expediciones en campo), los recursos humanos y el tiempo han sido utilizados de la forma más óptima para el logro de los objetivos propuestos. Las siguientes preguntas son muy importantes a la hora de evaluar la eficiencia del proceso:

- » ¿Se están usando los recursos (financieros, humanos, temporales) de la forma más óptima para responder a las necesidades de información identificadas al inicio del proceso?
- » ¿Es posible ajustar el diseño de muestreo o algún otro paso en la ruta planteada para la recolección, análisis, síntesis y divulgación de indicadores, para que el logro de los resultados esperados requiera menos recursos para su implementación, sin sacrificar la calidad de los datos?
- » ¿Qué tan costoefectivo es el programa de monitoreo?, ¿existen alternativas que permitan mejorar la costoefectividad?

D. SOSTENIBILIDAD. Este concepto se detalla en el Capítulo 11, pero, dado que la sostenibilidad es un elemento fundamental de un proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad, es importante incluir una mirada crítica a la estrategia de sostenibilidad durante las evaluaciones periódicas. Las siguientes preguntas son muy importantes a la hora de evaluar la sostenibilidad del proceso:

- » ¿Se cuenta con una estrategia financiera para sostener el monitoreo en el tiempo que requiere alcanzar los objetivos del proyecto?, ¿se está cumpliendo con lo planteado en dicha estrategia?

- » ¿Las instituciones participantes están comprometidas con el proceso de monitoreo y están incorporando su mantenimiento en la planeación a corto, mediano y largo plazo de sus presupuestos y actividades?
- » ¿Se cuenta con mecanismos efectivos de participación y apropiación de los resultados por parte de los actores clave en el contexto socioecológico del proyecto?

**E. IMPACTO.** Una estrategia de monitoreo y evaluación de la biodiversidad puede tener una gran diversidad de productos, resultados e impactos esperados en el tiempo (Capítulo 3). Sin embargo, uno de los impactos más importantes cuando estas estrategias se diseñan en un contexto de gestión integral de la biodiversidad o de manejo adaptativo es lograr que los actores involucrados realmente usen la información derivada del monitoreo para tomar decisiones que contribuyan a la conservación, restauración y uso sostenible de la biodiversidad. Por este motivo, durante las evaluaciones periódicas es fundamental revisar si este proceso de transformación de la información en conocimiento se está dando en las escalas esperadas (Capítulo 8). Adicionalmente, cuando una estrategia de monitoreo incluye el trabajo participativo con actores locales, debe contarse con estrategias para evaluar si el proceso ha contribuido a la apropiación social del conocimiento de la biodiversidad y a promover cambios de actitud frente a su gestión y valoración.

**F. OTROS PROCESOS TRANSVERSALES.** Debido a que las estrategias de gestión de datos e información (Capítulo 9) y de comunicación (Capítulo 10) también son elementos transversales a todos los pasos del ciclo de monitoreo, su correcto funcionamiento debe incluirse en las evaluaciones periódicas. Las siguientes preguntas son muy importantes a la hora de evaluar los otros procesos transversales:

- » ¿Se cuenta con un plan claro y transparente para la gestión de los datos e información producidos por el proyecto?, ¿se está cumpliendo dicho plan y se encuentran satisfechos los actores relevantes con el proceso?
- » ¿La gestión de datos permite que los actores involucrados cuenten con la información necesaria para sus procesos de toma de decisiones en la forma y tiempos más convenientes?
- » ¿La forma como se están publicando los datos permite que otros actores los usen para nuevos análisis o que los flujos de trabajo del análisis puedan repetirse con los mismos u otros datos?
- » ¿La forma como se están publicando los resultados es suficientemente clara para los actores involucrados?, ¿se pueden hacer ajustes para transmitir la información de forma más efectiva o a públicos diferentes de aquellos priorizados inicialmente?
- » ¿Se ha implementado la estrategia de comunicación planeada en un principio?, ¿cuáles han sido los impactos de la estrategia en el relacionamiento entre los actores?

- » ¿La estrategia de comunicación del programa de monitoreo está siendo efectiva o se identifican algunos actores clave a los cuales no está llegando la información?
- » ¿La estrategia de comunicación está contribuyendo a que los actores involucrados usen la información derivada del monitoreo para la toma de decisiones?

## 12.3. Conclusiones

La probabilidad de éxito de un proceso de monitoreo y evaluación de biodiversidad puede aumentar al aplicarse enfoques y herramientas utilizados en lo que se conoce como gerencia de proyectos. En su forma más básica, esto implica contar con un alcance, presupuesto y cronograma definidos, identificar los riesgos a los que se puede enfrentar el proyecto y prever las respuestas que se van a implementar, en caso de que esos riesgos se materialicen. Una vez inicia la fase de implementación del proyecto, este enfoque implica hacerle seguimiento para saber si se está en el camino trazado durante la fase de planeación. Las metodologías utilizadas para hacer este seguimiento deben permitir que los participantes del proyecto evalúen el progreso a la luz de las metas planteadas, integrando alcance, tiempo y recursos. Los proyectos de monitoreo y evaluación de biodiversidad deben ser objeto de evaluaciones periódicas que permitan saber si se están logrando los objetivos propuestos de manera costoefectiva y sostenible en el tiempo. Se propone estructurar las evaluaciones en torno a los criterios de relevancia, efectividad, eficiencia, sostenibilidad e impacto, así como abarcar en las mismas todos los pasos y procesos transversales del ciclo de monitoreo.

### Evaluación del proyecto planteado en la Caja 12.1

Caja 12.5.

A continuación se presentan hallazgos hipotéticos que podrían surgir durante las evaluaciones asociadas al proceso de monitoreo de biodiversidad en los humedales de páramo de un municipio y se explica cómo estos hallazgos se podrían usar para ajustar el proceso.

A. RELEVANCIA. Los resultados de la evaluación de estado llevada a cabo al inicio del proyecto permitieron evidenciar que el ingreso del ganado a las áreas de

amortiguación de algunos humedales estaba llevando a un deterioro en la calidad del agua disponible para el municipio. La comunidad se organizó para evitar la entrada del ganado a los humedales, y la evaluación de tendencias tras la implementación de estas medidas permitió evidenciar disminuciones en la erosión, aumentos en la proporción de vegetación nativa y una mejoría en los indicadores de calidad de agua. *En este caso, la evaluación final del programa de monitoreo indica que*



*el conocimiento generado fue pertinente para las necesidades de información de la comunidad y le está sirviendo para la gestión de los humedales del municipio.*

**B. EFECTIVIDAD.** Aunque inicialmente se propuso usar la riqueza de plantas como uno de los indicadores de estado de los humedales, tras analizar los datos de los primeros dos años, se notó que esta variable no cambiaba en el tiempo. Durante la evaluación, los participantes detectaron que la riqueza de plantas no es sensible a los cambios que estaban ocurriendo en el ecosistema, porque se les estaba asignando el mismo valor a las especies nativas que a las especies introducidas. Se decidió entonces recalcular el indicador separando ambos tipos de especies y considerando la abundancia de individuos por categoría. *En este caso, la evaluación del programa de monitoreo permite ver que uno de los indicadores elegidos inicialmente no era el más apropiado para la medición del progreso hacia el objetivo de restaurar los humedales y, al hacer el cambio, se podría ver de forma correcta si las condiciones iniciales estaban mejorando.*

**C. EFICIENCIA.** A partir de un análisis de poder estadístico realizado el primer año, se detectó que las unidades de muestreo que se estaban usando para monitorear cada humedal eran más de las necesarias, mientras que el número de humedales totales era menor al necesario. Se reformuló el diseño, incluyendo más humedales, pero menos muestras por cada uno, y se ajustaron los recursos financieros, humanos y de tiempo para soportar el nuevo esquema. *En este caso, la evaluación del programa de monitoreo permite ver que el esfuerzo de muestreo estaba mal asignado y, por lo*

*tanto, el trabajo de campo no estaba siendo costoefectivo. Aunque la corrección propuesta no implicaba una reducción de los costos y probablemente aumentaba el tiempo de ejecución, aseguraba que el proyecto generara los resultados esperados.*

**D. SOSTENIBILIDAD.** En medio de la implementación de la estrategia de monitoreo hubo un cambio de alcalde en el municipio y desde el inicio su equipo presentaba reticencia a continuar apoyando el monitoreo, por considerar que la información generada no beneficiaría directamente a la población. *En este caso, la evaluación de los factores que pueden afectar la sostenibilidad social del programa de monitoreo permite detectar que el nuevo equipo de la alcaldía no hacía parte de los actores priorizados al inicio del proyecto. Frente a esta situación, se diseñan estrategias que permitan que el equipo entrante entienda la relación entre lo que pasa en los humedales y la calidad del agua en la cabecera municipal, buscando que tanto la restauración como el monitoreo a sus impactos sean incluidos en el nuevo plan de gobierno.*

**E. IMPACTO.** Como parte de la estrategia de sostenibilidad financiera del proyecto, se cobró una sobretasa en el servicio de acueducto que utilizan los habitantes de la cabecera municipal para financiar la implementación de la restauración de los humedales que están llevando a cabo los habitantes de los páramos. Durante la planeación del monitoreo se detectó que, a pesar de vivir en el mismo municipio, estos dos grupos poblacionales tenían sistemas de valoración y apropiación de la biodiversidad muy diferentes. Por lo tanto, en las evaluaciones periódicas del proyecto, se incluyeron estrategias para evaluar cómo cada



grupo va percibiendo los costos y beneficios de la restauración. *En este caso, se evidencia que uno de los impactos del proceso en el municipio fue aumentar la apropiación que los habitantes de la cabecera municipal tenían de sus humedales, así como su apreciación de las acciones llevadas a cabo por los habitantes del páramo en beneficio de todos.*

**F1. GESTIÓN DE DATOS.** Desde un principio, el plan de gestión de datos del proyecto estableció que los datos se publicarían en una herramienta de acceso libre. Sin embargo, hubo quejas por parte de los financiadores, ya que, tras dos años del proceso, aún no tenían acceso a los datos. *Tras detectar el descontento, se evalúa en cuál de los pasos se estaba generando el retraso y se identifica que no se asignó suficiente personal a la tarea de curaduría de los datos recolectados en campo. Se procede entonces a ajustar el equipo de*

*trabajo y los protocolos para que los datos lleguen de forma oportuna a la herramienta y queden disponibles en los tiempos acordados.*

#### **F2. ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.**

Uno de los elementos de la estrategia de comunicación era la implementación de talleres en las veredas cercanas a los humedales, durante las fases de planeación e implementación del monitoreo. Sin embargo, en la evaluación final se detectó que en dichos talleres participaron muy pocas personas de la vereda en donde los resultados del proyecto evidenciaron los humedales en peor estado de conservación. *A partir de esta alerta, se priorizan espacios y herramientas diseñados específicamente para promover la comunicación con los habitantes de esta vereda, buscando aumentar su participación y apropiación de los resultados del monitoreo.*

# Referencias

- Ambriz Avelar, R. (2008). *La gestión del valor ganado y su aplicación: Managing earned value and its application*. [Paper presented at PMI Global Congress 2008, Latino América, Sao Paulo, Brazil]. Project Management Institute.
- Asana (2021a). Cómo utilizar el método de la ruta crítica en la gestión de proyectos. 16 de octubre, Recursos - Gestión de Proyectos, por Tean Asana. <https://asana.com/es/resources/critical-path-method>
- Asana (2021b). EDT: cómo hacer una para tu proyecto con un ejemplo. 22 de diciembre, Recursos - Gestión de Proyectos, por Alicia Raeburn. <https://asana.com/es/resources/work-break-down-structure>
- Asana (2022). Diagrama de Gantt: qué es y cómo crear uno con ejemplos. 12 de septiembre, Recursos - Gestión de Proyectos, por Julia Martins. <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics>
- Asana (2023). Qué es la gestión de riesgos y cómo aplicarla a tu proyecto en solo 6 pasos. 1 de febrero, Recursos - Planificación de Proyectos, por Julia Martins. <https://asana.com/es/resources/project-risk-management-process>
- BMZ (2011). Tools and Methods for Evaluating the Efficiency of Development Interventions. <https://acortar.link/mvtlcd>
- EdX (s.f.). IDBx: Gestión de riesgos en proyectos de desarrollo. Risk Management. <https://www.edx.org/es/learn/risk-management/inter-american-development-bank-gestion-de-riesgos-en-proyectos-de-desarrollo>
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development (s.f.). Evaluation Criteria. <https://acortar.link/as7ghW>
- OECD iLibrary (s.f.). 4. *Understanding the six criteria: Definitions, elements for analysis and key challenges. Applying Evaluation Criteria Thoughtfully*. <https://acortar.link/q5DukZ>
- ProjectManager (s.f.). Project Tracker. <https://www.projectmanager.com/guides/project-tracker>





Fotografia: Felipe Villegas, Instituto Humboldt.

# Reflexiones finales sobre monitoreo de biodiversidad en Colombia

---

Susana Rodríguez-Buriticá<sup>1</sup>, Lina M. Sánchez-Clavijo<sup>1</sup>, Bibiana Gómez Valencia<sup>1</sup>,  
María Cecilia Londoño Murcia<sup>1</sup>, Sindy Martínez-Callejas<sup>1</sup>, Carolina Soto Vargas<sup>1</sup>,  
José Manuel Ochoa-Quintero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Humboldt

Para concluir el libro se presentan las recomendaciones más importantes referentes a cada paso y proceso del ciclo de monitoreo, así como algunas reflexiones acerca de la viabilidad de desarrollar un sistema de monitoreo y evaluación de biodiversidad en Colombia, aplicando sistemáticamente el marco propuesto en los capítulos anteriores.

## 13.1. Mensajes clave del ciclo de monitoreo

El ciclo de monitoreo es una herramienta práctica para planear, implementar y evaluar de forma organizada los procesos de monitoreo de biodiversidad, independientemente de sus contextos socioecológicos y alcances o de la variedad de actores que participen en los mismos. Aunque, según el tipo de proyecto, cambiará qué tanta atención se le da a cada paso o proceso, el ciclo proporciona una lista de chequeo para asegurarse de que todos los temas importantes se tuvieron en cuenta desde el principio. Es una buena forma de simplificar un proceso complejo para que todos los participantes entiendan su rol y en qué momento se generará cada uno de los productos; por lo tanto, es una ayuda para abordar de forma sistemática muchos de los imprevistos que pueden surgir durante la implementación de estas estrategias (Capítulo 1; Figura 13.1).

**Paso 1. Caracterización socioecológica del territorio.** Contextualizar el territorio desde una perspectiva socioecológica que integre a los actores relevantes es el primer paso para diseñar estrategias de monitoreo que generen información pertinente sobre la biodiversidad. Este paso facilita el conocimiento y acceso al área de estudio, genera espacios de diálogo, garantiza mayor simetría en el acceso e intercambio de información y ayuda a prevenir conflictos y a entender el punto de partida de los participantes. Además, permite generar diseños de muestreo que responden a la realidad de los territorios y apoya la integración entre actores y sectores, en términos tanto operativos como financieros. Por lo tanto, es clave contar con un equipo interdisciplinario que pueda sintetizar fuentes primarias y secundarias de información geográfica, socioambiental y biológica, para que, en conjunto con los actores del territorio, identifiquen los vacíos y necesidades que justifican la estrategia de monitoreo y generen la base sobre la cual se crearán las preguntas para orientarla (Capítulo 2).

**Paso 2. Construcción de la estrategia.** Construir la estrategia de monitoreo de forma participativa permite definir el propósito y alcance del proceso, seleccionar los objetos y variables que se van a

monitorear e identificar los usuarios potenciales, actores involucrados y expertos interesados, de forma concertada y oportuna. La elaboración de la carta de navegación que seguirá el proyecto inicia siempre con la formulación de objetivos. En el monitoreo a la gestión de biodiversidad se continúa con la definición de metas e indicadores, generalmente en un marco de manejo adaptativo, mientras que en procesos de monitoreo científico se generan preguntas e hipótesis ligadas a procesos de investigación de largo plazo. En ambos casos es importante utilizar marcos de referencia que permitan reducir la complejidad de los sistemas socioecológicos contextualizados en el paso anterior y enfocarse en un plan que permita cumplir de forma estratégica los objetivos identificados con los actores e instituciones que hacen parte del proceso (Capítulo 3).

Figura 13.1.

#### Ciclo de monitoreo\*

\* Propuesto para estructurar y documentar la planeación e implementación de estrategias de monitoreo y evaluación de biodiversidad.



#### Fases

- Planeación
- Implementación

#### Procesos transversales

- Gestión de datos e información
- Estrategia de comunicación
- Evaluaciones periódicas
- Sostenibilidad y continuidad

**Paso 3. Diseño de muestreo.** Diseñar el muestreo de forma cuidadosa, teniendo en cuenta principios ecológicos, estadísticos y logísticos, ayuda a garantizar que los datos recolectados lleven a conclusiones precisas sobre el problema de investigación o gestión que se definió. Un buen diseño ayuda a reducir la incertidumbre asociada a la variabilidad natural de los sistemas socioecológicos y permite seleccionar cómo, dónde y cuándo se realizan los eventos de monitoreo asociados a los objetos y variables elegidas en el paso anterior. Partir del conocimiento del territorio y trabajar con equipos conformados tanto por expertos locales como por investigadores capacitados en diseño experimental, que además conozcan los objetos de monitoreo y los métodos de muestreo y de análisis, garantiza una transición sin contratiempos entre las etapas de planeación y de implementación (Capítulo 4).

**Paso 4. Recolección de datos.** La recolección de datos da inicio a la fase de implementación, y su repetición estandarizada y sistemática es la clave para pasar de caracterizar a monitorear la biodiversidad y de indicadores de estado a indicadores de tendencia. La cantidad de técnicas de muestreo disponibles para recolectar datos en cada nivel de organización biológica puede ser intimidante, ya sea a través de observación directa, captura, muestreos pasivos, temporales, permanentes o, incluso, de la obtención de información secundaria complementaria. Para elegir las herramientas más apropiadas deben considerarse los objetivos, objetos de monitoreo, diseño de muestreo, recomendaciones de expertos, criterios éticos para el manejo de vida silvestre y el trabajo participativo, retos logísticos y de seguridad para el equipo de trabajo y estándares para la toma y organización de datos y metadatos biológicos y geográficos. Aunque idealmente se debe seguir el plan de recolección de datos, si llegan a necesitarse ajustes, estos se justifican y documentan, para ser incorporados en los análisis y así garantizar la integridad de las series de datos en el tiempo (Capítulo 5).

**Paso 5. Análisis y modelamiento.** Los procesos de análisis y modelamiento transforman los datos en información a través de la generación de variables y de la aplicación de pruebas estadísticas que permiten detectar cambios, contestar preguntas, examinar patrones e inferir procesos ecológicos de forma robusta. Las técnicas aplicadas pueden ser herramientas poderosas si son compatibles con el diseño de muestreo usado, parten de bases de datos bien estructuradas, siguen buenas prácticas para su implementación, consideran posibles fuentes de incertidumbre y tratan de incluir diferentes puntos de vista para el manejo de consensos y disensos. Elegir el tipo de análisis o modelo correcto requiere entender sus alcances, supuestos, eficiencia y poder predictivo, según la relación entre disponibilidad de datos y conocimiento del sistema. Aunque cada vez surgen métodos más flexibles para incorporar las características del muestreo en estos procesos, la calidad de sus resultados dependerá siempre de la calidad de los insumos, por lo cual, en un proceso de mejoramiento continuo, de este paso pueden surgir muchas ideas para ajustar los pasos anteriores (Capítulo 6).

**Paso 6. Indicadores y escenarios.** Más allá de cuantificar el estado y tendencias de las variables monitoreadas, los indicadores ayudan a evaluar el progreso hacia metas y objetivos de gestión de biodiversidad, mientras que los escenarios ayudan a explorar futuros posibles para orientar decisiones de intervención con base en los resultados. Este paso se fortalece con el uso de marcos conceptuales para el diseño, selección, desarrollo y presentación de indicadores y escenarios, y con el trabajo participativo con actores diversos. Una buena batería de indicadores responde a las necesidades de información que justifican el proceso de monitoreo, incluye diferentes atributos de la biodiversidad —medidos en varios niveles de organización—, complementa fuentes de información existentes, tiene una clara aplicación en la toma de decisiones en diferentes escalas, favorece la inclusión de temáticas ambientales en agendas políticas y facilita tanto el seguimiento y evaluación a planes y convenios como la interpretación y divulgación de los resultados del monitoreo a diferentes públicos (Capítulo 7).

**Paso 7. Interpretación y divulgación.** La visualización e interpretación de la información generada en los pasos anteriores permite cerrar el ciclo con la generación de conocimiento pertinente para el contexto socioecológico y las necesidades identificadas al inicio del proceso. La efectividad de este paso depende de la interdisciplinariedad y creatividad para transformar las herramientas y lenguajes tradicionales de la divulgación de la ciencia en elementos innovadores que permitan involucrar a un mayor número y diversidad de personas en un proceso de apropiación social del conocimiento. Existe gran variedad de herramientas, tanto impresas como digitales, para publicar los datos y la información del monitoreo. Los formatos seleccionados deben: tener en cuenta las capacidades técnicas y acceso a tecnologías de los públicos objetivo; ser transparentes respecto a las limitaciones, sensibilidad e incertidumbre generadas en cada paso del ciclo; y usar el objetivo del proceso de monitoreo como hilo conductor para construir la historia que se quiere contar (Capítulo 8).

Aunque los capítulos que describen los procesos transversales están ubicados al final del libro, es importante recordar que estos están presentes a lo largo de todo el ciclo y en cada una de sus iteraciones; por lo tanto, deben pensarse y diseñarse desde el principio, recibir presupuestos adecuados y continuar activos durante la totalidad de la duración del proyecto.

**Proceso I. Gestión de datos e información.** La gestión apropiada de datos e información en un proyecto de monitoreo y evaluación de biodiversidad genera un ciclo dentro del ciclo y es, por lo tanto, un proceso transversal. Sus etapas principales son: planificación, captura de datos, curaduría y documentación, almacenamiento y custodia, publicación, síntesis y uso. Para cada etapa existen buenas prácticas, aspectos a tener en cuenta, mecanismos para el control de calidad y herramientas útiles que vienen desarrollando los sistemas de información en general y se aplican de forma específica a las ciencias de la biodiversidad.

La gestión de datos e información debe ser proporcional y específica para las necesidades de cada proyecto, pero hay que entender que este proceso facilita los análisis integrados de datos dentro y fuera del mismo, además que ayuda a ahorrar tiempo y recursos. Este proceso es indispensable para que los proyectos generen los impactos deseados y persistan en el tiempo (Capítulo 9).

**Proceso II. Estrategia de comunicación.** La estrategia de comunicación se convierte en una aliada del monitoreo de biodiversidad cuando se diseña para respaldar el desarrollo del mismo de acuerdo con lineamientos que permitan que todos los actores involucrados asuman el proceso como suyo, trascendiendo una simple socialización de resultados. Implica la identificación y priorización de públicos de interés, construcción de mensajes clave y definición de formatos, canales y lenguajes. Entre sus elementos importantes están: crear ejercicios de comunicación diferenciales para cada público; promover el intercambio, enriquecimiento y apropiación de ideas entre los actores involucrados; incluir un plan de seguimiento que permita medir el impacto, apropiación o uso cotidiano de los mensajes en el contexto real, más allá de la duración del proyecto; identificar y evaluar riesgos de comunicación en términos de públicos y objetos de monitoreo involucrados; así como tener lineamientos claros sobre cómo actuar ante cualquier contingencia. Todos estos elementos son transversales al ciclo e hitos importantes para lograr la sostenibilidad de los procesos a largo plazo (Capítulo 10).

**Proceso III. Sostenibilidad y continuidad.** Pensar en la sostenibilidad del monitoreo en su conceptualización permitirá que continúe hasta que se logra el cumplimiento de sus objetivos. Esta sostenibilidad involucra aspectos financieros, organizacionales y sociales que dependen del contexto y los actores involucrados. Algunas estrategias para conseguir sostenibilidad que han funcionado en Colombia incluyen la generación de redes de trabajo con diferentes actores, mandatos oficiales que encargan a instituciones específicas del monitoreo de ciertas variables, aportes desde la ciencia participativa para la apropiación de los procesos por parte de diferentes comunidades, y la vinculación de empresas públicas o privadas que además de cumplir sus obligaciones ambientales deciden hacer aportes voluntarios a propuestas de conservación de biodiversidad. El monitoreo adaptativo ha sido la columna vertebral de muchas de estas estrategias. Es clave compensar el riesgo de detener el proceso antes de tiempo con la consecución progresiva y oportunista de nuevas fuentes de financiación, así como estar atentos a cambios en el contexto sociocultural que hagan importante buscar el apoyo de diferentes públicos y sectores (Capítulo 11).

**Proceso IV. Evaluaciones periódicas.** La probabilidad de éxito de un proceso de monitoreo aumenta al aplicarse enfoques y herramientas de la gerencia de proyectos en su planeación, seguimiento y evaluación. Esto implica contar con un alcance, presupuesto y cronograma definidos, identificar los riesgos a los que se puede enfrentar el proyecto y prever las respuestas que se van a implementar

en caso de que esos riesgos se materialicen. Para saber si el proyecto va por el camino correcto, se hace seguimiento a lo largo de todos los pasos y procesos del ciclo y se implementan evaluaciones periódicas en cada nueva iteración del mismo. Este proceso transversal cuenta con tres etapas: diseño, recolección de información y análisis, y síntesis y divulgación de los resultados a los actores interesados; y seis criterios de evaluación: relevancia, efectividad, eficiencia, sostenibilidad, impacto y relación con otros procesos transversales (Capítulo 12).

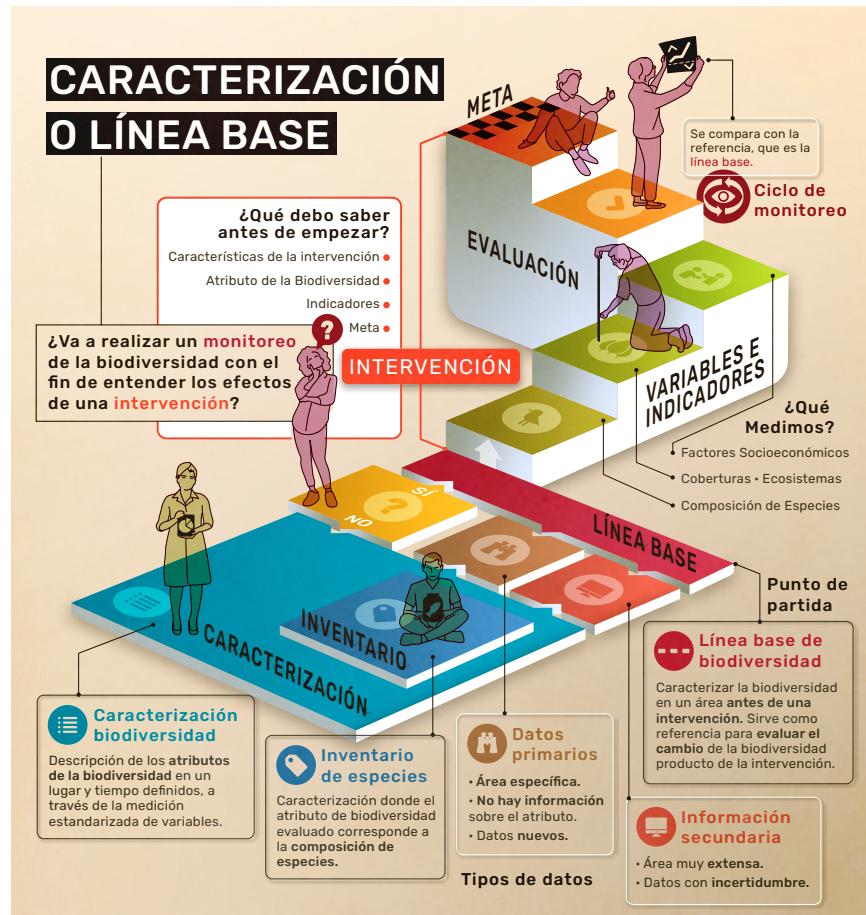
Adicional a los mensajes clave sobre cada paso y proceso del ciclo, se dan los siguientes consejos para evitar los cuellos de botella o puntos críticos más frecuentes en los procesos de monitoreo y evaluación de biodiversidad:

1. Monitorear la biodiversidad a mediano y largo plazo es un proceso difícil y costoso. Por eso es importante iniciar con una reflexión acerca de si realmente se necesita para cumplir los objetivos y necesidades identificadas en el contexto específico. En algunas ocasiones puede ser más pertinente implementar procesos de investigación socioecológica, caracterización de biodiversidad, inventarios de especies, elaboración de líneas base para comparaciones espaciotemporales u otras modalidades de intervención en el territorio. Por lo anterior, es de vital importancia tener claras las diferencias metodológicas y de alcance entre cada una de estas aproximaciones (Figura 13.2).
2. Es común que no se destinen el tiempo y los recursos suficientes a la etapa de planeación, ya que la necesidad de presentar resultados a financiadores y entidades que apoyan el proceso suele llevar a priorizar la obtención rápida de datos. Sin embargo, entre más grande sea el alcance de un proyecto, más cuidado necesita esta etapa. Si se piensa en el proyecto como un árbol y en sus resultados como los frutos, es fácil entender por qué estos se verían perjudicados al no tener unas buenas raíces. Por lo tanto, se debe transmitir de forma assertiva a los financiadores las ventajas a largo plazo de invertir en aspectos de planeación y sostenibilidad.
3. La elección de objetos de monitoreo es muy importante en el diseño de la estrategia y no debe confundirse con la priorización de objetos de conservación. Los objetos de monitoreo deben ser sensibles a las presiones y respuestas de interés. Además, su velocidad de respuesta y escala de efecto deben ser coherentes con los alcances del proyecto e, independiente de su estado de conservación, debe ser viable monitorearlas de forma costoefectiva en las circunstancias específicas del proceso.
4. El grado de dificultad en la recolección de datos depende tanto de los objetos de monitoreo elegidos como de la experiencia de quienes la ejecutan, ya que, así como hay componentes y atributos de la biodiversidad que se pueden caracterizar con pocos equipos y entrenamiento, hay otros que requieren herramientas y técnicas sofisticadas. Es clave capacitar a quienes participan en esta etapa para minimizar sesgos y errores que

Figura 13.2.

## Modalidades de intervención en el territorio

Fuente:  
Restrepo et al. (s.f.).



puedan surgir por diferencias en la implementación de los protocolos. En procesos de ciencia participativa, es especialmente importante proveer acompañamiento continuo para garantizar la calidad y comparabilidad de los datos recolectados.

5. Hoy en día existen muchas técnicas pasivas para la recolección de datos de biodiversidad, como cámaras trampa, grabadoras para estudios de bioacústica y ecoacústica e incluso sensores remotos. Aunque estos permiten obtener una gran cantidad de información con equipos relativamente pequeños y en poco tiempo, el cuello de botella de estas técnicas se traslada de la recolección al procesamiento, curaduría, almacenamiento y análisis de datos, por lo que hay que presupuestar de forma correcta los recursos necesarios para estos procesos.
  6. El diseño de muestreo, análisis y modelamiento, y los indicadores y escenarios pueden requerir el acompañamiento continuo de expertos, sobre todo en proyectos de mediano a largo plazo o en aquellos que requieren demostrar resultados cuantitativos sofisticados. En este caso, la recomendación es que, si las entidades a cargo del proyecto no tienen esta experiencia, busquen

- aliados estratégicos, especialmente en las instituciones académicas locales y regionales, que, al estar en el territorio, pueden ayudar a robustecer y dar continuidad a los procesos.
7. Diferentes personas pueden sacar conclusiones contradictorias a partir de los mismos resultados, si estos no se presentan con una interpretación cuidadosa que permita pasar de las cifras a la construcción de narrativas coherentes. Aunque últimamente se ha hecho mucho énfasis en las plataformas digitales para mostrar los resultados de monitoreo de biodiversidad, de nada servirán si los datos que las alimentan no son de buena calidad, no responden a las necesidades que llevaron a la formulación del proyecto, no llegan a los usuarios priorizados al inicio o no les permiten a estos entender los resultados del proceso.
  8. Como en los procesos de monitoreo de biodiversidad generalmente existe un periodo de tiempo prolongado entre el inicio del proyecto y la generación de resultados útiles, es indispensable pensar en productos intermedios que mantengan el interés de las entidades financieras y el apoyo de instituciones estratégicas. En proyectos de mediano y largo plazo se debe además promover una memoria organizacional que resista a cambios políticos o de enfoque y de personal en las entidades participantes.
  9. Cuando un proyecto cuenta con diferentes fuentes de financiación y participantes con intereses divergentes puede complicarse la gobernanza de los datos e información producida. Por esto es importante plantear reglas claras desde el inicio, mantener una comunicación transparente de los resultados y expectativas entre socios y reconocer que, aunque no todos tienen que intervenir en todos los pasos, es importante que todos conozcan el proceso completo.
  10. Implementar el ciclo de monitoreo agrega valor a los datos en dos etapas. Por un lado, los pasos de análisis y modelamiento, y de indicadores y escenarios transforman los datos en información importante y relevante para las evaluaciones de estado y tendencia de la biodiversidad; por el otro, pasos como la contextualización del territorio y la visualización e interpretación de la información aumentan la posibilidad de que el conocimiento generado sea pertinente e incidente.

El conocimiento es *importante* cuando “hay un consenso general de la comunidad de interés sobre su relevancia potencial”, pero esta tiene que ver principalmente con agendas científicas, académicas o de investigación; se convierte en *relevante* cuando “la pertinencia potencial ha sido señalada por la comunidad de investigadores” y se refiere a preguntas generales asociadas con la gestión de la biodiversidad; se convierte en *pertinente* cuando “surge en un espacio, tiempo y situación territorial específica de aplicación”; y, finalmente, llega a ser *incidente* cuando “el actor que investiga está involucrado en algún proceso concreto de gestión” (Andrade & Londoño, 2016).

# 13.2. Retos y oportunidades para el monitoreo de biodiversidad en Colombia

Más allá de los mensajes para proyectos particulares, las propuestas de este libro permiten reflexionar acerca de los retos y oportunidades para el establecimiento de un sistema nacional de monitoreo de la biodiversidad en Colombia. Esta sección parte de identificar el propósito y características ideales de dicho sistema, continúa con la caracterización del contexto en el cual existiría y termina con sugerencias para un diseño que permita usar lo que ya se tiene como base para construir un sistema que supla las necesidades del país.

## 13.2.1. Hacia un sistema nacional de monitoreo y evaluación de la biodiversidad

Anteriormente, el Instituto Humboldt ha enfatizado en que es prioritario diseñar e implementar en el país esquemas de monitoreo y evaluación de biodiversidad que: 1) sean diseñados atendiendo a contextos socioecológicos específicos, pero manteniendo siempre los principios de la investigación científica; 2) afiancen las colaboraciones estratégicas entre actores a través de la construcción participativa y las estrategias de comunicación transparentes; 3) aumenten la representatividad espacial, temporal y taxonómica de los datos de biodiversidad en el país; 4) validen métodos indirectos para evaluar la biodiversidad que permitan muestrear variables esenciales de forma costoefectiva; 5) produzcan cadenas de gestión de información que permitan integrar datos de diversas fuentes para el cálculo de indicadores incidentes en la toma de decisiones; y 6) estén acompañados de estrategias de sostenibilidad que permitan que los procesos continúen a largo plazo (Sánchez & Díaz, 2021).

Sin embargo, para la gestión sostenible de la biodiversidad en el país hay que ir más allá de una colección de buenas iniciativas funcionando de forma independiente. Colombia necesita un sistema de monitoreo de biodiversidad que funcione con un rigor semejante al sistema de monitoreo hidrometeorológico y que, a la vez, esté más abierto a las contribuciones y participación de diversos actores. Con base en un proceso llevado a cabo dentro del Sistema Nacional Ambiental (SINA) entre 2013 y 2014 (Vallejo & Gómez, 2017) y considerando lo presentado

en este libro, se recomienda que dicho sistema se conceptualice como una herramienta y no como un fin y que tenga las siguientes características:

- » El sistema deberá generar información de forma regular para calcular indicadores de estado y tendencia de todos los tipos de ecosistema, así como de los factores, tanto positivos como negativos, que puedan estar afectando su permanencia.
- » Tanto los indicadores como los datos e información utilizados para calcularlos deben estar disponibles públicamente para consulta, análisis y exploración por parte de cualquier individuo interesado.
- » El sistema no solo debe contar con la participación de diversos actores con distintos niveles de incidencia (social, política, técnica y económica), sino promover procesos de apropiación de las comunidades locales durante la fase operativa de los proyectos.
- » Los indicadores se deben desarrollar con los más altos estándares de calidad, siguiendo protocolos establecidos y compatibles con sistemas de monitoreo globales, permitiendo discriminar factores esporádicos, cíclicos o continuos de presión sobre la biodiversidad y contribuyendo al reporte de los compromisos internacionales de Colombia en materia de conservación de la biodiversidad.
- » El sistema promoverá el desarrollo de preguntas que orienten el sentido, frecuencia, modalidad, continuidad y alcance de las acciones de monitoreo a nivel local, contando con personal técnicamente competente y experimentado en el tema u objeto de estudio, con apoyo tanto de la academia como del conocimiento local.
- » Dado que cada área de implementación ocurre en un contexto particular, el sistema debe ser adaptable en sus mecanismos para lograr el objetivo de monitoreo continuo de los ecosistemas y la biodiversidad en Colombia.

Un sistema de estas características, que funcione por varios años, permitiría que ciudadanos, científicos y tomadores de decisiones puedan identificar cuándo está en problemas un ecosistema o área específica. Si se toma a escalas espaciotemporales adecuadas, la información sería suficiente para identificar las mejores estrategias para revertir tendencias no deseadas o, en casos extremos, adaptarse a ellas o intentar compensar la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Al igual que los sistemas de alertas tempranas para eventos climáticos extremos, este conocimiento ayudará a la sociedad colombiana a planificar respuestas a los efectos del cambio climático sobre los sistemas socioecológicos.

En este panorama ideal, todos los pasos y procesos del ciclo de monitoreo tendrían garantizado un presupuesto mínimo proveniente de alianzas público-privadas que ayuden a asegurar la implementación continua en diversas partes del país, la integración y publicación de la información recolectada, y el uso de la misma en la gestión de biodiversidad por todos los sectores. Una mirada tanto a experiencias similares a nivel global como a las oportunidades actuales en Colombia puede ayudar a esbozar una hoja de ruta a partir de la cual establecer dicho sistema en el país.

## 13.2.2. Lineamientos para la construcción participativa del sistema: lecciones globales y oportunidades locales

Desde hace varios años se ha exaltado la importancia de conservar la biodiversidad para conseguir el bienestar humano (Isbell et al., 2017; Díaz et al., 2018); no obstante, a pesar de que varios programas de monitoreo han sido determinantes para romper paradigmas de comprensión acerca del impacto antrópico en el funcionamiento del planeta, sigue sin reconocerse el valor agregado que el monitoreo a largo plazo puede aportar a la gestión de los sistemas socioecológicos. La combinación de datos de monitoreo contundentes con la presión de la sociedad han moldeado políticas públicas respecto de los niveles permitidos de nitrógeno en Europa (Dirnböck et al., 2014), mejores prácticas para plantaciones forestales en Sudáfrica (Bennett & Kruger, 2015) y estándares globales en la evaluación de especies en peligro de extinción (Burns et al., 2015). De igual forma, estudios a largo plazo han sido determinantes para entender la relación entre biodiversidad y productividad (Tilman et al., 2002; Kleinman et al., 2018), el declive de las poblaciones de insectos debido a los químicos usados en actividades productivas (Kunin, 2019) y la respuesta de los ecosistemas al cambio climático global (Jones & Driscoll, 2022). Sin un consenso colectivo en todas las instancias de toma de decisiones acerca de la relevancia del monitoreo de la biodiversidad para las sociedades, se corre el riesgo de que las acciones de conservación no tengan la profundidad necesaria para cambiar las tendencias de pérdida que se están viviendo en todo el mundo.

Actualmente, solo 44 países pertenecen a la red internacional de monitoreo ecológico a largo plazo (Mirtl et al., 2018). A pesar de contener el 10 % de la biodiversidad global, Colombia no es uno de ellos. De hecho, en una caracterización de los antecedentes de monitoreo de biodiversidad en Colombia hasta 2013, Vallejo & Gómez (2017) concluyeron que el país contaba “con un conjunto heterogéneo de sistemas de información sobre ambiente y biodiversidad, el cual había incorporado dentro de sus planes de desarrollo el componente de monitoreo; pero debido a que estos sistemas fueron creados con propósitos distintos y con diferentes estándares de manejo y gestión de la información, presentaban muy poca o ninguna interoperabilidad”. Por ello,

... a pesar de los esfuerzos realizados, el impacto de la información generada se encontraba limitado a los alcances de cada institución; esto, sumado a las limitaciones de conocimiento sobre el funciona-

miento de los sistemas naturales, sobre sus dinámicas de cambio y la dirección de estos cambios, constituyeron vacíos de información que hacían difícil detectar o aislar la naturaleza de los mismos, en particular si estos cambios se debían a procesos naturales o a alteraciones de carácter antrópico.

Por esto es importante que los científicos colombianos insistan, sensibilicen, exijan, contribuyan y enseñen mejor el valor agregado de tener áreas con monitoreo de biodiversidad, permanente y participativo, que permitan explorar preguntas científicas y aplicadas sobre el funcionamiento de los ecosistemas y generar conocimiento relevante a múltiples escalas. A su vez, estas preguntas deben estar alineadas con retos de entendimiento globales que se puedan traducir en decisiones de manejo y políticas públicas aplicables y efectivas. Por ejemplo, ¿cómo se están adaptando los ecosistemas a los cambios ambientales actuales?, ¿cuáles son los determinantes de la resiliencia ecosistémica?, ¿cuáles son las combinaciones críticas y la extensión de motores que llevan a los ecosistemas a superar los puntos de no retorno?, ¿cómo ha respondido la sociedad a estas problemáticas y cuáles respuestas son más efectivas para mantener ecosistemas resilientes? (Mirtl et al., 2018).

Un impulso fuerte al establecimiento de un programa nacional de monitoreo de biodiversidad viene de los compromisos adquiridos en los acuerdos internacionales de conservación (Caja 13.1). Por ejemplo, tras la reunión número 15 de las partes del Convenio de Diversidad Biológica, llevada a cabo a finales de 2022 en Montreal, se publicó un nuevo marco global de biodiversidad que incluye un esquema de monitoreo transparente, responsable y cíclico del progreso conseguido por las partes hacia las metas revisadas. La meta 20 incluso menciona de forma explícita la importancia de fortalecer los sistemas de monitoreo de biodiversidad a nivel global. Textualmente pide:

Fortalecer la creación y el desarrollo de capacidad, así como el acceso a tecnología y transferencia de tecnología, y promover el desarrollo y el acceso a la innovación y la cooperación científica y técnica, incluido a través de la cooperación Sur-Sur, Norte-Sur y triangular, para satisfacer las necesidades de una implementación eficaz, en particular en los países en desarrollo, promoviendo el desarrollo conjunto de tecnología y programas conjuntos de investigación científica para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica y el fortalecimiento de las capacidades de investigación científica y de seguimiento, en forma acorde con el nivel de ambición de los objetivos y las metas del Marco. (ONU, 2022, p.13)

## Prioridades de monitoreo en el marco de los acuerdos post 20-20 para la conservación de la biodiversidad

Las acciones de conservación y restauración implementadas en países megadiversos tienen mayor potencial de contribuir al cumplimiento de las metas globales del convenio sobre diversidad biológica (CBD) que las acciones implementadas en el resto del mundo (Mair et al., 2021). Sin embargo, los sistemas de monitoreo de biodiversidad actuales no permiten hacer el seguimiento apropiado ni al cumplimiento de las metas ni al progreso hacia las mismas en el tiempo. Más bien, se cuenta con una serie de subrogados o proxys que, se asume, reflejan los patrones y procesos de aquellas variables que aún no se pueden monitorear a escalas adecuadas. Ante este panorama, durante el Quinto Foro de Ciencia y Política para la Biodiversidad y la Octava Conferencia Internacional en Ciencia de la Sostenibilidad (ICSS, s.f.), se discutieron tres desafíos y oportunidades clave para el futuro del monitoreo de biodiversidad en Colombia: recopilar datos en las escalas espaciotemporales adecuadas, producir información relevante a partir de los datos recopilados y asegurar que la información generada por estos sistemas de monitoreo realmente se utiliza en la toma de decisiones.

**I. RECOPILACIÓN DE DATOS EN LAS ESCALAS ESPACIOTEMPORALES ADECUADAS.** Aunque Colombia ha mejorado en el monitoreo a través de los productos de sensores remotos, es necesario mejorar en la recolección de datos a largo plazo sobre ecosistemas, comunidades y poblaciones a escalas que sean tanto ecológica como políticamente relevantes. La mejor oportunidad

para avanzar en este desafío está en que, con la estructuración y el acompañamiento adecuados, la ciencia participativa puede mejorar la sostenibilidad de los esquemas de monitoreo local y ayudar a recopilar grandes volúmenes de datos sobre biodiversidad. Sin embargo, para que esta apuesta funcione, se requiere construir y fortalecer redes de observadores más diversas que puedan promover la descentralización, democratización y costoefectividad en la investigación de la biodiversidad.

**2. PRODUCIR INFORMACIÓN RELEVANTE A PARTIR DE LOS DATOS RECOLPILADOS.** Aún con mejores datos, todavía existen cuellos de botella técnicos para implementar técnicas de análisis y modelamiento que permitan escalar la información global hacia escalas menores y la información local hacia escalas mayores. La mejor oportunidad para avanzar en este desafío es buscar aliados a nivel global y participar en esfuerzos colaborativos que promuevan el desarrollo de capacidades en el país, esto con el requisito de lograr alianzas simétricas que garanticen una verdadera transferencia de recursos a las partes interesadas.

**3. ASEGURAR QUE LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO SE UTILIZA EN LA TOMA DE DECISIONES.** Los tomadores de decisiones, tanto a escala local como nacional, deben contar con la información disponible para generar procesos coherentes entre niveles y sectores. La mejor oportunidad para avanzar en este desafío son sistemas de

apoyo a la toma de decisiones que recopilen información de diversas fuentes, se actualicen periódicamente y permitan consultas fáciles de variables e indicadores en tiempo real. Para que estos sistemas realmente sean usados, una vez estén disponibles, se debe

mejorar la comunicación entre científicos y partes interesadas de diferentes disciplinas y sectores, asegurando que las salidas de información se adapten adecuadamente a las necesidades de los usuarios finales previstos para las mismas.

Más allá de un monitoreo alejado de las necesidades y el conocimiento local, un sistema de monitoreo nacional debe garantizar tanto confiabilidad científica como participación plural y diversa (Gavin et al., 2018; Pascual et al., 2021). Retomando las lecciones aprendidas de las experiencias a nivel global, se han identificado varios factores que determinan el éxito o fracaso de un programa de monitoreo, y uno de los pilares fundamental de éxito es contar con un esquema claro de gobernanza y reglas transparentes para la participación de diferentes actores (Tabla 13.1). Esta gobernanza se deberá basar en la apropiación del sistema por parte de actores e instituciones locales en cada sitio, encontrando un balance entre la flexibilidad —para que cada equipo explore temas particulares— y el cumplimiento de estándares para la toma, curaduría y reporte de información, garantizando así el valor agregado de hacer comparaciones en diferentes contextos socioecológicos y a largo plazo. Las reglas claras sobre la participación de cada investigador, colaborador o entidad en los productos colectivos (Mirtl et al., 2018), y la organización jerárquica, pero pluralista y participativa, permitirán ejecutar planes estratégicos que garanticen la sostenibilidad financiera de los sitios de monitoreo, la comparabilidad de la información generada y el funcionamiento del sistema como red colaborativa. Existen diferentes estructuras de gobernanza que han probado ser exitosas, por lo que será necesario indagar cuál puede ser la más adecuada para el contexto colombiano.

El desarrollo de redes colaborativas de monitoreo globales requiere usar herramientas que faciliten la participación de actores diversos en la implementación y la gestión de información de fuentes diferentes (Bush et al., 2017; Wicquart et al., 2022). Estas redes representan una oportunidad para garantizar transparencia, participación, apropiación y gobernanza efectivas. Hay avances en la estandarización de protocolos e indicadores basados en el concepto de *variables esenciales de la biodiversidad* —ligadas a la iniciativa Geo Bon (s.f.-b)— y en el trabajo de consorcios internacionales, como el Biodiversity Indicators Partnership (BIP, s.f.) y el World Conservation Monitoring Centre del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, s.f.). Estas iniciativas buscan que los indicadores funcionen como aquellos generados en el monitoreo del clima o los fenómenos sociales (Scholes et al., 2008; 2012; Mace et al., 2018, Soto et al., 2021). En este sentido, destacan en el país los esfuerzos del BON Colombia (Geo Bon, s.f.-a) y la Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia (Llambí et al., 2019).

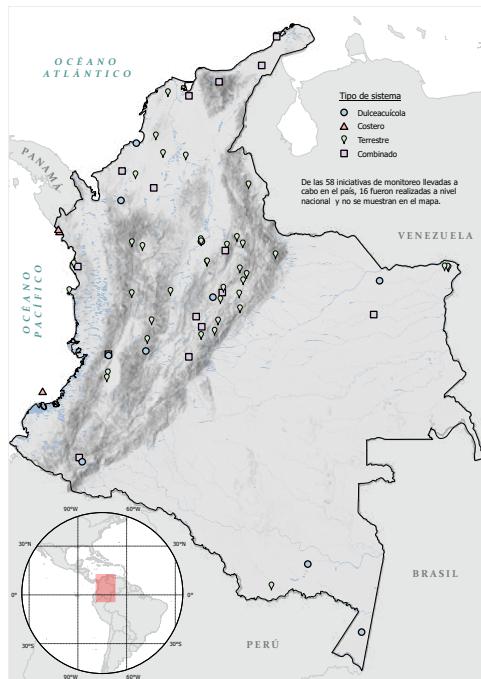
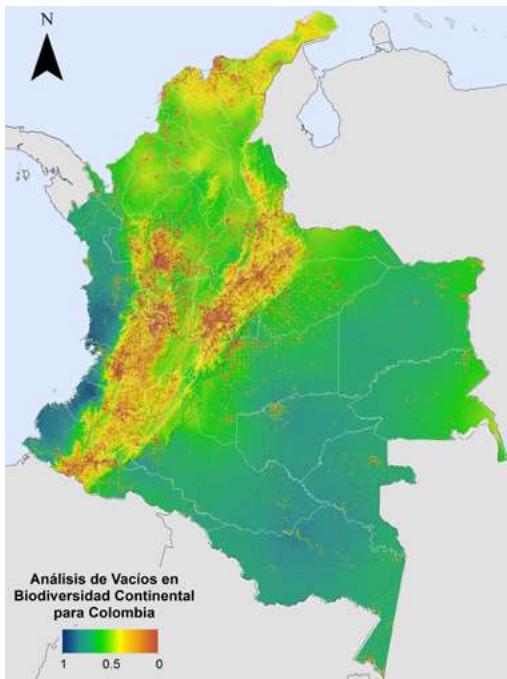
El uso de herramientas que facilitan la participación de actores locales y la apropiación social del conocimiento no solo constituye una oportunidad de incrementar la efectividad de las acciones locales en pro de la biodiversidad (Gavin et al., 2018), sino que en sí mismas se convierten en una estrategia para reducir los vacíos de información que existen en Colombia. Así ha ocurrido con diferentes propuestas de ciencia participativa y redes de colaboración que lidera el Instituto Humboldt, como eBird Colombia, Naturalista Colombia, la Red Bosque Seco Tropical Colombia, la Red Colombiana de Fototrampeo y la Red Ecoacústica Colombiana<sup>1</sup>. Sin embargo, estas iniciativas no están libres de sesgos espaciales, ecosistémicos y taxonómicos (Figura 13.3). Estos sesgos y vacíos no solo debilitan el poder estadístico para evaluar cambios a escala nacional, sino que además son especialmente preocupantes en regiones como la Amazonía, donde la evidencia muestra que fenómenos como el cambio climático pueden tener grandes impactos a escala global e incluso sobre la biodiversidad en sectores remotos sin intervención aparente (Stouffer et al., 2020; Jirinec et al., 2021; Saatchi et al., 2021).

Los sesgos también ocurren entre ecosistemas. Por ejemplo, la información disponible para ecosistemas acuáticos en el país es mucho menor que para ecosistemas terrestres y marinos (Batista et al., 2020). Uno de los requerimientos fundamentales para poder generar un monitoreo efectivo de la biodiversidad acuática continental es tener conocimiento sobre los tipos de ecosistemas e identificar objetos de monitoreo sensibles a los cambios en el espacio y el tiempo. Aunque el proceso de caracterización y categorización de los ecosistemas acuáticos continentales está muy avanzado (Ideam, 2017), aún se requiere de información estandarizada que facilite la selección de objetos de monitoreo y la interpretación de indicadores que puedan ser comparables, replicables y utilizables en estudios generados por múltiples actores en las diferentes regiones del país.

Las iniciativas de ciencia participativa y redes colaborativas que parten de una aproximación de abajo hacia arriba (*bottom-up*) son complementos necesarios de los sistemas de monitoreo tradicionales que aplican una estrategia de arriba hacia abajo (*top-down*) —aunque no los reemplazan totalmente— y que buscan organizar un sistema centrado en datos desde la institucionalidad oficial (Kühl et al., 2020). Dichos esquemas requieren inversiones bastante altas para mantener la toma de datos en campo, así como su curaduría, almacenamiento, análisis y divulgación (Lindenmayer et al., 2022), y los esquemas colaborativos se han convertido en una estrategia costoefectiva para este reto. Muchas de las plataformas de monitoreo en el mundo ya se implementan a través de redes colaborativas; p. ej., la Ecological Monitoring and Assessment Network (EMAN) en Canadá; la European Environment Information and Observation Network (Eio-

---

<sup>1</sup>Páginas web: eBird Colombia (<https://ebird.org/colombia>), Naturalista Colombia (<https://colombia.inaturalist.org/>), Red Bosque Seco Tropical Colombia (<https://redbst-col.com>), Red Colombiana de Fototrampeo (<https://redfototrampeo.netlify.app>) y Red Ecoacústica Colombiana (<https://mobile.twitter.com/ecoacusticared>).



**Figura 13.3.**

**Vacíos en el conocimiento de la biodiversidad en Colombia\***

\* Izquierda: análisis de vacíos en el conocimiento de la biodiversidad continental para Colombia; las áreas con colores cálidos indican sectores mejor caracterizados, mientras que los colores fríos indican sitios poco estudiados (Cruz & Noguera, 2021). Derecha: localización de 58 iniciativas de monitoreo de especies a largo plazo en Colombia (Moussy et al., 2021). Cabe aclarar que las búsquedas de información para hacer estos análisis suelen subestimar lo que se ha hecho en el país, debido a que muchos datos no están disponibles públicamente y a que no todas las iniciativas tienen visibilidad en línea.

net); y la International Long Term Ecological Research Network (Ilter)<sup>2</sup> a nivel global, que cuentan con financiación pública para la integración de iniciativas existentes (Henry et al., 2008; Kühl et al., 2020).

Precisamente la costoefectividad y la financiación que garanticen la articulación entre actores y sitios son otros de los pilares de un monitoreo sostenible a largo plazo (Tabla 13.1). A nivel global, uno de los obstáculos principales para avanzar en la construcción de sistemas de monitoreo de biodiversidad ha sido el que viene de las asimetrías y limitaciones en la inversión en biodiversidad en general (Arlaud et al., 2018; Waldron et al., 2020) y en su monitoreo en particular (Danielsen et al., 2003; Moussy et al., 2021). Se estima que se necesitan inversiones de alrededor del 0,5 % del producto interno bruto (PIB) de las naciones para cumplir con las metas Aichi, pero el promedio mundial está alrededor del 0,3 % de los presupuestos anuales nacionales (Seidl et al., 2021). En Colombia, el financiamiento para acciones que favorezcan la biodiversidad viene principalmente de fuentes oficiales: presupuestos nacionales, departamentales, municipales y de entes territoriales, que representan el 90 % de la inversión (Biofin, 2018), con aportes adicionales obligatorios o voluntarios del sector privado (Echeverry et al., 2019). La inversión actual no llega al 0,2 % del PIB (Biofin, 2021) y muchos de los recursos son de corta duración y no están enmarcados en estrategias de largo plazo con componentes de monitoreo.

<sup>2</sup> EMAN - Ecological Monitoring and Assessment Network (<https://eman-rese.ca/>); Eionet - European Environment Information and Observation Network (<https://www.eionet.europa.eu/>); Ilter - International Long Term Ecological Research Network (<https://wwwILTER.network/seite.mv?>).

**Tabla 13.1.**

Factores de éxito y fracaso de programas de monitoreo a nivel mundial

Fuente: adaptado de Noss (1990), Vos et al. (2000), Yoccoz et al. (2001), Vallejo & Gómez (2017) y Lindenmayer & Likens (2018).

Factores de éxito	Factores de fracaso	Relación con el monitoreo
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Relación cercana entre monitoreo e investigación ecológica de largo plazo.</li> <li>» Programas basados en conocimiento del sistema y en principios y teorías ecológicas.</li> <li>» Programas desarrollados en el marco de manejo adaptativo.</li> <li>» Alianzas entre actores clave bien establecidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Hacer monitoreo cuando no es necesario.</li> <li>» Asumir que todos los procesos de monitoreo son iguales.</li> <li>» Mal manejo de datos y pérdida de su integridad a largo plazo por problemas de propiedad intelectual.</li> <li>» Falta de articulación entre actores clave.</li> <li>» Falta de relación entre las variables monitoreadas y las acciones de manejo posibles por parte de los usuarios de la información.</li> </ul>	Todo el ciclo.
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Justificación clara del programa, objetivos precisos, definición de usuarios objetivo y de metas a corto, mediano y largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Problemas inesperados, como individuos que obstruyen los procesos y burocracia excesiva en las entidades involucradas.</li> </ul>	Paso 1. Contextualización del territorio.
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Buenas preguntas en constante evolución.</li> <li>» Compromiso para usar hipótesis relevantes para la conservación de la biodiversidad.</li> <li>» Uso de modelos conceptuales para el diseño de las estrategias.</li> <li>» Reconocer la importancia de la ciencia ciudadana en el monitoreo.</li> <li>» Selección de objetos de monitoreo apropiados según las preguntas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Desfase de tiempo entre fases del ciclo.</li> <li>» Falta de preguntas orientadoras o de objetivos bien articulados.</li> </ul>	Paso 2. Construcción de la estrategia.
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Buen diseño de muestreo que tenga en cuenta la relación costo-beneficio de estrategias alternativas, restricciones externas, expectativas del programa y escalas apropiadas de muestreo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Diseño experimental pobre.</li> <li>» Desacuerdo en selección de objetos de monitoreo ("muchas cosas mal monitoreadas en vez de pocas cosas bien monitoreadas").</li> <li>» Omitir fuentes de error en la estimación de variables.</li> </ul>	Paso 3. Diseño de muestreo.  Paso 4. Recolección de datos.  Paso 5. Análisis y modelamiento.
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Políticas e infraestructura de datos que permiten la integración de bases de datos, plataformas de manejo y procesos de análisis de información.</li> <li>» Uso frecuente de los datos y alta productividad científica.</li> <li>» Buen mantenimiento de la integridad de los datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Se enfoca únicamente en la recopilación de datos (rico en datos y pobre en información).</li> <li>» Falla, al quedarse en reportes para una parte de los actores involucrados.</li> <li>» Mal manejo de datos y pérdida de su integridad a largo plazo por falta de evaluaciones de calidad.</li> </ul>	Gestión de datos e información (transversal).
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Calibración constante de las técnicas de campo y potencial para identificar cuestiones emergentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Falta de seguimiento a los procesos para ver si se están cumpliendo los objetivos de forma costeefectiva.</li> </ul>	Fase de implementación (pasos 4-7). Seguimiento y evaluación (transversal).

Factores de éxito	Factores de fracaso	Relación con el monitoreo
» Compartir los datos de forma abierta y divulgar el conocimiento generado de forma oportuna.	» Falta de divulgación apropiada del conocimiento generado a los actores pertinentes.	Paso 6. Indicadores y escenarios. Paso 7. Interpretación y divulgación. Estrategia de comunicación (transversal).
» Continuidad generada por liderazgo fuerte y dedicado. » Elaboración de una estrategia de sostenibilidad financiera.	» Falta de continuidad por financiación, pérdida de personal clave, eventos inesperados, dependencia de tecnologías complejas y exceso de burocracia.	Sostenibilidad y continuidad (transversal).

El sistema de monitoreo que necesita el país no es viable si se plantea con sustento en una única entidad o fuente de financiamiento. Aunque muchos casos exitosos de monitoreo a largo plazo reciben apoyo de sus gobiernos (Kühl et al., 2020), el financiamiento se realiza en instancias articuladas de inversión a corto plazo donde se hacen evaluaciones periódicas de desempeño, al tiempo que constantemente se están buscando otras fuentes de apoyo. Por ejemplo, aunque el sistema de la Red de Investigación Ecológica a Largo Plazo (Long Term Ecological Research - LTER) tiene financiamiento exclusivo en el sistema de asignación de la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos, se realizan convocatorias donde los sitios compiten por otros fondos públicos a través de proyectos específicos. Estos mecanismos complementarios de financiamiento a corto plazo ayudan a estimular la sana competencia entre diferentes áreas, promueven la búsqueda de alianzas para garantizar la sostenibilidad y dan la oportunidad para hacer ajustes presupuestales adaptativos que garanticen el funcionamiento general del sistema.

En este sentido, el reto de fondo es establecer un programa nacional que articule las iniciativas existentes y, a partir de ahí, crezca de forma estratégica. En Colombia no se han planteado proyectos de inversión que garanticen los fondos mínimos para articular una red de monitoreo de biodiversidad, como sí se ha hecho para la red de estaciones hidrometeorológicas o, en los últimos años, para el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) y el Sistema de Información Forestal (SNIF), entre otros —Decreto 291 de 2004 (MAVDT) y 2099 de 2016 (Presidencia de la República)—. El monitoreo de biodiversidad requiere un mandato explícito en los planes de desarrollo que exprese la voluntad política y dé la financiación mínima para hacer seguimiento a la biodiversidad.

Cuando exista un financiamiento mínimo garantizado y articulado a una estrategia a largo plazo, será más fácil establecer sistemas complementarios de financiación ligados a intereses académicos, comerciales, obligatorios o regulatorios a nivel regional y nacional. Por ejemplo, las universidades tienen áreas de muestreo

regular que usan como plataformas pedagógicas y académicas en áreas protegidas; los esquemas de pagos por servicios ambientales (PSA) requieren monitoreo para demostrar constancia en las acciones pagadas; y las Corporaciones Autónomas Regionales o la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) tienen zonas de interés donde están haciendo o solicitan monitoreo. Finalmente, hay iniciativas particulares de ONG o reservas de la sociedad civil que encuentran en el monitoreo una herramienta poderosa para la sensibilización y la gestión territorial.

Aunque el país cuenta con una base importante para la construcción participativa de un sistema de monitoreo de biodiversidad, este no se va consolidar hasta que no se reconozcan la importancia y el valor agregado del monitoreo a largo plazo. Esperamos entonces que este libro se convierta en una herramienta para avanzar en la dirección correcta hacia este propósito.

# Referencias

- Andrade, G. I., & Londoño, M. C. (2016). Cadena de valor en la generación del conocimiento para la gestión de la biodiversidad. *Biodiversidad en la Práctica*, 1(1), 1-20. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/9889>
- Arlaud, M., Cumming, T., Dickie, I., Flores, M., Van den Heuvel, O., Meyers, D., ..., & Trinidad, A. (2018). The biodiversity finance initiative: An approach to identify and implement biodiversity-centered finance solutions for sustainable development. En Leal Filho, W., Pociovalișteanu, D. M., Borges de Brito, P. R., & Borges de Lima, I. (Eds.), *Towards a sustainable bioeconomy: Principles, challenges and perspectives* (pp. 77-98). Springer.
- Batista-Morales, A. M., Roa Cubillos, M. M., Sánchez-Clavijo, L. M. ..., & Alonso, J. C. (2020). Monitoreo de ecosistemas acuáticos: Selección de parámetros a escala de macrocuenca Magdalena-Cauca. En *Biodiversidad 2019: Reporte de estados y tendencias*. Instituto Humboldt.
- Bennett, B., & Kruger, F. (2015). *Forestry + water conservation in South Africa*. Australian National University Press. [https://doi.org/10.26530/OAPEN\\_588815](https://doi.org/10.26530/OAPEN_588815)
- Biofin (2018). *Valoración y análisis de brechas NBSAP*. <https://acortar.link/swtR9y>
- Biofin (2021). *Gasto público de Colombia en biodiversidad*. PNUD Colombia. <https://acortar.link/D8tyt9>
- BIP - Biodiversity Indicators Partnership (s.f.). *Sustainable Development Goals*. <https://www.bipindicators.net/>
- Burns, E. L., Lindenmayer, D. B., Stein, J., Blanchard, W., McBurney, L., Blair, D., & Banks, S. C. (2015). Ecosystem assessment of mountain ash forest in the Central Highlands of Victoria, south-eastern Australia. *Austral Ecology*, 40(4), 386-399. <https://doi.org/10.1111/aec.12200>
- Bush, A., Sollmann, R., Wilting, A., Bohmann, K., Cole, B., Balzter, H., ..., & Yu, D. W. (2017). Connecting Earth observation to high-throughput biodiversity data. *Nature Ecology & Evolution*, 1(7), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0176>
- Cruz-Rodríguez, C. A., & Noguera-Urbano, E. (2021). *Análisis de vacíos en biodiversidad continental para Colombia, escala 1:100.000, año 2020*. Instituto Humboldt - GeoNetwork. <https://acortar.link/FdNpC2>
- Danielsen, F., Mendoza, M. M., Alviola, P., Balete, D. S., Enghoff, M., Poulsen, M. K., & Jensen, A. E. (2003). Biodiversity monitoring in developing countries: what are we trying to achieve? *Oryx*, 37(4), 407-409. <https://doi.org/10.1017/S0030605303000735>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ..., & Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Dirnböck, T., Grandin, U., Bernhardt-Römermann, M., Beudert, B., Canullo, R., Forsius, M., ..., & Uziębło, A. K. (2014). Forest floor vegetation response to nitrogen deposition in Europe. *Global Change Biology*, 20(2), 429-440. <https://doi.org/10.1111/gcb.12440>
- Echeverry-Galvis, M. Á., Unda, M., Bravo, M. P., García, N., Rubiano-Pinzón, G. A., & Palomino, J. V. (2019). Plan de acción en biodiversidad de la PNGIBSE, Metas Aichi y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia: Análisis y concordancia en el discurso entre metas propuestas para 2020. *Gestión y Ambiente*, 22(2). <https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.82227>

- Gavin, M. C., McCarter, J., Berkes, F., Mead, A. T. P., Sterling, E. J., Tang, R., & Turner, N. J. (2018). Effective biodiversity conservation requires dynamic, pluralistic, partnership-based approaches. *Sustainability*, 10(6), article 6. <https://doi.org/10.3390/su10061846>
- Geo Bon (s.f./a). Colombia BON. <https://geobon.org/bons/national-regional-bon/national-bon/columbia-bon/>
- Geo Bon (s.f./b). *What are EBVs? Essential Biodiversity Variables*. <https://geobon.org/ebvs/what-are-ebvs/>
- Henry, P.-Y., Lengyel, S., Nowicki, P., Julliard, R., Clobert, J., Čelik, T., ..., & Henle, K. (2008). Integrating ongoing biodiversity monitoring: Potential benefits and methods. *Biodiversity and Conservation*, 17(14), 3357-3382. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9417-1>
- ICSS (s.f.). *Fifth Science Policy Forum for Biodiversity and the Eighth International Conference on Sustainability Science*. <https://science4biodiversity.org>
- IDEAM - Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (2017). *Mapa de los ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia a escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <http://www.ideal.gov.co/web/ecosistemas/mapa-ecosistemas-continentales-costeros-marinos>
- Isbell, F., González, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Héctor, A., ..., & Larigauderie, A. (2017). Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature*, 546(7656), 65-72. <https://doi.org/10.1038/nature22899>
- Jirinec, V., Burner, R. C., Amaral, B. R., Bierregaard Jr., R. O., Fernández-Arellano, G., Hernández-Palma, A., ..., & Stouffer, P. C. (2021). Morphological consequences of climate change for resident birds in intact Amazonian rainforest. *Science Advances*, 7(46). 10.1126/sciadv.abk1743
- Jones, J. A., & Driscoll, C. T. (2022). Long-term ecological research on ecosystem responses to climate change. *BioScience*, 72(9), 814-826. <https://doi.org/10.1093/biosci/biac021>
- Kleinman, P. J. A., Spiegel, S., Rigby, J. R., Goslee, S. C., Baker, J. M., Bestelmeyer, B. T., ..., & Walthall, C. L. (2018). Advancing the sustainability of US agriculture through long-term research. *Journal of Environmental Quality*, 47(6), 1412-1425. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.05.0171>
- Kühl, H. S., Bowler, D. E., Bösch, L., Bruelheide, H., Dauber, J., Eichenberg, D., ..., & Bonn, A. (2020). Effective biodiversity monitoring needs a culture of integration. *One Earth*, 3(4), 462-474. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.010>
- Kunin, W. E. (2019). Robust evidence of declines in insect abundance and biodiversity. *Nature*, 574(7780), 641-642. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03241-9>
- Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2018). *Effective ecological monitoring* (2 ed.). CSIRO.
- Lindenmayer, D. B., Lavery, T., & Scheele, B. C. (2022). Why we need to invest in large-scale, long-term monitoring programs in landscape ecology and conservation biology. *Current Landscape Ecology Reports*, 7(4), 137-146. <https://doi.org/10.1007/s40823-022-00079-2>
- Llambí, L. D., Becerra, M. T., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M., & Díaz, L. J. (2019). Construcción de una estrategia para el monitoreo integrado de los ecosistemas de alta montaña en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 150-172. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/699>
- Mace, G. M., Barrett, M., Burgess, N. D., Cornell, S. E., Freeman, R., Grooten, M., & Purvis, A. (2018). Aiming higher to bend the curve of biodiversity loss. *Nature Sustainability*, 1(9), 448-451. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0130-0>

- Mair, L., Bennun, L. A., Brooks, T. M., Butchart, S. H., Bolam, F. C., Burgess, N. D., ... & McGowan, P. J. (2021). A metric for spatially explicit contributions to science-based species targets. *Nature Ecology & Evolution*, 5(6), 836-844.
- Mirtl, M., T. Borer, E., Djukic, I., Forsius, M., Haubold, H., Hugo, W., ..., & Haase, P. (2018). Genesis, goals and achievements of long-term ecological research at the global scale: A critical review of ILTER and future directions. *Science of the Total Environment*, 626, 1439-1462. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.001>
- Moussy, C., Burfield, I. J., Stephenson, P. J., Newton, A. F., Butchart, S. H., Sutherland, W. J., ..., & Donald, P. F. (2021). A quantitative global review of species population monitoring. *Conservation Biology*, 36(1). <https://doi.org/10.1111/cobi.13721>
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- ONU (2022). Conferencia de las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica 15<sup>a</sup> reunión – Parte II Montreal (Canadá), 7 a 19 de diciembre de 2022. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-es.pdf>
- Pascual, U., Adams, W. M., Díaz, S., Lele, S., Mace, G. M., & Turnhout, E. (2021). Biodiversity and the challenge of pluralism. *Nature Sustainability*, 4(7), 567-572. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00694-7>
- Restrepo, A., Gómez-Valencia, B., Galeano, S. P., Gómez-Posada, C., Corzo, G. y Ochoa-Quintero, J. M. (s.f.). Lineamientos para la generación de caracterizaciones y líneas base de biodiversidad. En *Manual de métodos para la medición y análisis de la biodiversidad*. Instituto Humboldt. [en preparación].
- Saatchi, S., Longo, M., Xu, L., Yang, Y., Abe, H., André, M., ..., & Elmore, A. C. (2021). Detecting vulnerability of humid tropical forests to multiple stressors. *One Earth*, 4(7), 988-1003. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.002>
- Sánchez-Clavijo, L. M. y Díaz-Pulido, A. (2021). Lineamientos para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. En Moncada-Rasmussen, D. M., Díaz-Pulido, A., Mora-Rodríguez, D., Sánchez-Clavijo, L. M., Velásquez, A., Valenzuela, L. & Espinosa, J. A. (Eds.), *Experiencias público-privadas de monitoreo, seguimiento y reporte de la biodiversidad en contextos andino-amazónicos: Contribución de la iniciativa Biodiversidad y Desarrollo por el Putumayo al monitoreo y reporte de la biodiversidad* (pp. 14-21). ANDI, Sinchi, IAvH y WCS. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35858>
- Scholes, R. J., Mace, G. M., Turner, W., Geller, G. N., Jürgens, N., Larigauderie, A., ..., & Mooney, H. A. (2008). Toward a global biodiversity observing system. *Science*, 321(5892), 1044-1045. [10.1126/science.1162055](https://doi.org/10.1126/science.1162055)
- Scholes, R. J., Walters, M., Turak, E., Saarenmaa, H., Heip, C. H., Tuama, É. Ó., ..., & Geller, G. (2012). Building a global observing system for biodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1), 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.12.005>
- Seidl, A., Mulungu, K., Arlaud, M., Van den Heuvel, O., & Riva, M. (2021). The effectiveness of national biodiversity investments to protect the wealth of nature. *Nature Ecology & Evolution*, 5(4), 530-539. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01372-1>
- Soto-Navarro, C. A., Harfoot, M., Hill, S. L. L., Campbell, J., Mora, F., Campos, C., ..., & Burgess, N. D. (2021). Towards a multidimensional biodiversity index for national application. *Nature Sustainability*, 4(11), 933-942. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00753-z>

- Stouffer, P. C., Jirinec, V., Rutt, C. L., Bierregaard Jr, R. O., Hernández-Palma, A., Johnson, E. I., ..., & Lovejoy, T. E. (2020). Long-term change in the avifauna of undisturbed Amazonian rainforest: Ground-foraging birds disappear and the baseline shifts. *Ecology Letters*, 24(2), 186-195. <https://doi.org/10.1111/ele.13628>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- UNEP (s.f.). The UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). <https://www.unep-wcmc.org/en>
- Vallejo, M. I., y Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, 2(1), 1-47. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/426>
- Vos, P., Meelis, E., & Ter Keurs, W. J. (2000). A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61(3), 317-344. <https://doi.org/10.1023/A:1006139412372>
- Waldron, A., Adams, V., Allan, J., Arnell, A., Asner, G., Atkinson, S., ..., & Zhang, Y. (2020). Protecting 30% of the planet for nature: Costs, benefits and economic implications [Working paper]. IIASA.
- Wicquart, J., Gudka, M., Obura, D., Logan, M., Staub, F., Souter, D., & Planes, S. (2022). A workflow to integrate ecological monitoring data from different sources. *Ecological Informatics*, 68, 101543. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101543>
- Yoccoz, N. G., Nichols, J. D., & Boulanger, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16(8): 446-453.

# Legislación

Presidencia de la República (2016). Decreto 2099. Por el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la “Inversión Forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales” y se toman otras determinaciones. 22 de diciembre <https://acortar.link/9swCND>

MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004). Decreto 291. Por el cual se modifica la estructura del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam, y se dictan otras disposiciones. 29 de enero. <https://acortar.link/ZIz7tg>







COLECCIÓN  
HUMBOLDTIANA

Este libro presenta un marco conceptual y metodológico para el monitoreo de la biodiversidad, aplicable a cualquiera de sus componentes y a diferentes escalas territoriales. Esta publicación parte del pensamiento científico, pero está orientada a la generación de conocimientos que permitan evaluar los procesos ecológicos a largo plazo, así como los impactos de las acciones que se están promoviendo para la conservación o recuperación de la biodiversidad en las diferentes geografías del país.

ISBN: 978-628-7721-29-6



9 786287 721296