



COMISIÓN PARA
LA COOPERACIÓN
AMBIENTAL

Soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los riesgos por inundación en comunidades costeras



**Monitoreo
de la eficacia**

Conjunto de documentos de orientación:



Cobeneficios



**Reconversion de
infraestructura
en pie**



**Monitoreo de la
eficacia: metodología e
indicadores propuestos**

Citar como:

CCA (2025), *Monitoreo de la eficacia - Soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los riesgos por inundación en comunidades costeras*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, ix+43 pp.

La presente publicación fue elaborada por DHI Water and Environment Inc. para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información que contiene es responsabilidad del autor y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción total o parcial de este material, en cualquier forma o medio, con propósitos educativos y sin fines de lucro, sin que sea necesario obtener autorización expresa por parte del Secretariado de la CCA, siempre y cuando se haga con absoluta precisión y se cite debidamente la fuente. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo "Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada", de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2025

ISBN: 978-2-89700-361-6

Available in English – ISBN: 978-2-89700-359-3

Disponible en français – ISBN: 978-2-89700-360-9

Depósito legal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025

Depósito legal: Library and Archives Canada, 2025

Detalles de la publicación

Categoría del documento: Publicación de proyecto

Fecha de publicación: abril 2025

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:

Revisión final de las Partes: octubre, 2024

QA379

Proyecto: Plan Operativo 2021 / Soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a inundaciones en ciudades costeras

Si desea más información sobre esta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:

Comisión para la Cooperación Ambiental

1001 Robert-Bourassa, Suite 1620

Montreal (Quebec)

H3B 4L4 Canada

t 514.350.4300; f 438.701.1434

info@cec.org / www.cec.org



Índice

Sinopsis.....	iii
Resumen ejecutivo.....	iii
Prefacio.....	viii
Agradecimientos.....	ix
1 Introducción	1
1.1 Objetivos y alcance	2
1.2 Importancia del monitoreo de las soluciones basadas en la naturaleza.....	3
1.3 Lagunas en la información y obstáculos que dificultan los procesos de monitoreo.....	4
1.4 Lecturas complementarias.....	5
2 El proceso de monitoreo	7
2.1 Fases del proyecto para la implementación de SbN.....	7
2.2 Fases de planificación para monitorear la eficacia de las SbN.....	7
2.3 Etapas del proceso de monitoreo.....	8
2.4 Vinculación con el manejo adaptativo	12
3 Consideraciones administrativas para establecer un plan de monitoreo.....	15
3.1 Ámbito de acción	15
3.2 Funciones y responsabilidades	16
3.2.1 Consideraciones relativas a quién debe participar	16
3.3 Financiamiento	19
3.4 Acceso, almacenamiento y disseminación de datos.....	22
4 Consideraciones técnicas para un plan de monitoreo.....	24
4.1 Indicadores y criterios de medición.....	24
4.2 Métodos y técnicas	27
4.3 Escala física y ubicaciones.....	28
4.4 Escala temporal y frecuencia.....	28
4.5 Análisis de datos.....	29
5 Eficacia del monitoreo	31
5.1 Impacto de la configuración del emplazamiento.....	31
5.2 Impacto de las condiciones climatológicas cambiantes	31
5.3 Comparación con infraestructuras convencionales	32
6 Oportunidades y direcciones futuras	35
7 Conclusiones	38
Bibliografía	39

Lista de gráficas

Gráfica 1. Marco para el desarrollo de un proyecto SbN	7
Gráfica 2. Mediciones de elevación	11
Gráfica 3. Imágenes aéreas de la isla del Cisne en 2017 (antes de la colocación de sedimentos) y 2019, 2020 y 2021 (después de la colocación de sedimentos)... 11	
Gráfica 4. Modelo conceptual de los datos de monitoreo sobre elevación de la playa que se integran en el proceso de toma de decisiones para el manejo adaptativo	12
Gráfica 5. Construcción de dunas: después de su construcción (izquierda) y al cabo de dos temporadas invernales con erosión (derecha)	14
Gráfica 6. Teoría del cambio para proyectos de gestión de riesgos asociados con los eventos de inundación	16
Gráfica 7. Nube de palabras de las respuestas proporcionadas por expertos participantes durante la serie de talleres de la CCA sobre SbN, en relación con quién debe participar en la planificación y ejecución de los procesos de monitoreo	17
Gráfica 8. Diseño del sitio del proyecto río.....	18
Gráfica 9. Ejemplos de fuentes de financiamiento potenciales para monitoreo e implementación de SbN.....	19
Gráfica 10. Estructura de un plan fiduciario de seguros	21
Gráfica 11. Estaciones CoastSnap.....	23
Gráfica 12. Marco para el monitoreo	26
Gráfica 13. Modelo conceptual de desempeño variable a lo largo de la vida útil de dos alternativas para la gestión de riesgos por inundación	34

Sinopsis

La gestión del riesgo por inundación constituye una de las principales preocupaciones en zonas costeras urbanas y periurbanas, sobre todo si se tiene en cuenta el aumento del nivel del mar que el cambio climático trae consigo. Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) ofrecen la posibilidad de responder a muchos de los objetivos de los planes de gestión del riesgo por inundación, al tiempo que aportan beneficios sociales, medioambientales y económicos. Sin embargo, su adopción e implementación se ven limitadas por la incertidumbre percibida en torno a su eficacia. El impulso a la puesta en funcionamiento de este tipo de soluciones exige evaluar su impacto mediante un proceso que pueda someterse a mejoras continuas y que, a partir de la generación de nuevos conocimientos fundamentales, vaya consolidándose para ampliar su aplicación, así como para formalizar el uso de SbN en instrumentos políticos. El monitoreo de las SbN como medio para poner de manifiesto los éxitos tangibles de su implementación y los aprendizajes asociados es una de las herramientas de que disponen los responsables de la toma de decisiones para gestionar y mitigar las incertidumbres asociadas a estas soluciones.

El presente documento, con que se apoya la adopción de SbN en comunidades costeras de Canadá, Estados Unidos y México, proporciona a los responsables de la toma de decisiones información práctica y orientaciones relacionadas con el monitoreo de este tipo de soluciones. En el mismo se describe el proceso global de monitoreo, junto con consideraciones administrativas y técnicas necesarias para elaborar un plan de monitoreo, y se resume información contenida en documentos y directrices de referencia clave. Las aplicaciones prácticas del proceso de monitoreo se ilustran mediante estudios de caso. Se presenta además una síntesis del impacto que tienen en los procesos de monitoreo la configuración del emplazamiento donde se instrumentan las SbN y el cambio climático, y se ofrece una comparación sucinta de las diferencias entre el monitoreo de infraestructuras “grises” (es decir, duras) convencionales y de SbN. Finalmente, el informe incluye una lista de posibles oportunidades para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a colmar las lagunas y reducir los obstáculos que dificultan el monitoreo de soluciones basadas en la naturaleza.

Resumen ejecutivo

Las comunidades asentadas en zonas costeras de Canadá, Estados Unidos y México están expuestas a eventos amenazantes como las inundaciones y la erosión. Se prevé que los riesgos de inundación costera se intensifiquen debido al aumento de la densidad de población cerca del litoral y de los efectos del cambio climático. Las soluciones basadas en la naturaleza son una alternativa a los métodos convencionales de gestión del riesgo de inundaciones, que incluyen diques y malecones. Los enfoques convencionales de la gestión de los riesgos asociados con inundaciones tienden a basarse en métodos estructurales y materiales “duros” y a subestimar los cobeneficios que pueden obtenerse de la reconversión de infraestructura [añadido] desde el punto de vista ambiental, social y económico. Por el contrario, las SbN emplean materiales y procesos naturales o basados en la naturaleza, al tiempo que aportan cobeneficios para el medio ambiente, el ámbito social y la economía. El monitoreo, componente esencial de la implementación de las SbN, permite alcanzar diversos objetivos y obtener numerosos beneficios potenciales, entre los que destacan:

- Valoración de los resultados de la gestión del riesgo por inundación;
- Evaluación de los cobeneficios;
- Evaluación de impactos no deseados;
- Contribución para el manejo adaptativo;
- Cumplimiento de los requisitos establecidos para cada proyecto (por ejemplo, de aquellos relativos al financiamiento);

- Intercambio de conocimientos (por ejemplo, investigación y desarrollo de directrices);
- Optimización de la rendición de cuentas y aumento de la participación pública;
- Comparación entre distintas soluciones para la gestión del riesgo por inundación, y
- Fortalecimiento de las capacidades y creación de empleo.

A pesar de los numerosos beneficios que se asocian a la implementación de SbN, existen varios obstáculos y lagunas de información que dificultan la ejecución de iniciativas de monitoreo relacionadas con estas soluciones, y pueden dividirse en cuatro categorías:

- Sociales o actitudinales (por ejemplo, percepción de las actividades de monitoreo como un costo innecesario);
- Técnicos (como falta de profesionales capacitados o una distribución deficiente de los datos);
- Ambientales (por ejemplo, variabilidad a largo plazo de los sistemas naturales), e
- Institucionales (como falta de fondos o trabas normativas).

Este documento se propone apoyar a los responsables de la toma de decisiones y a los profesionales de la gestión de riesgos asociados con inundaciones en la instrumentación y monitoreo amplios de SbN. En concreto, busca abordar los obstáculos y lagunas de información conocidos, presentar una síntesis de la información existente y proporcionar orientación práctica para planificar, evaluar y aplicar programas de monitoreo eficaces asociados a las SbN. Cabe aclarar que el documento no ofrece una orientación técnica en profundidad ni una revisión exhaustiva de la creciente bibliografía sobre la metodología de monitoreo y las SbN.

El proceso de monitoreo

En un proyecto de SbN, las actividades de monitoreo y el desarrollo de un plan de manejo adaptativo deberían emprenderse en las etapas iniciales (es decir, en la fase de definición del alcance). El programa de monitoreo debe diseñarse para ser exhaustivo y riguroso, pero con la flexibilidad suficiente para permitir cualquier adaptación que se considere necesaria a lo largo de la vida del proyecto. Las fases de planificación de un proceso de monitoreo integral, que son análogas a aquellas que se aplican en la implementación de las SbN en general, consisten en lo siguiente:

1. Determinación del alcance
2. Planificación
3. Diseño
4. Implementación
5. Presentación de informes
6. Evaluación

Es conveniente que las actividades de monitoreo se lleven a cabo a lo largo de toda la vida del proyecto e incluyan la recopilación de datos históricos, de referencia, de cumplimiento y operativos. Recabar datos operativos reviste especial importancia para el manejo adaptativo de las SbN, ya que permite garantizar la eficacia de la gestión de los riesgos por inundación y corroborar la obtención de cobeneficios. En consecuencia, los parámetros de monitoreo y los criterios de medición deben guardar relación directa con los objetivos de desempeño del proyecto. Además, los datos operativos a largo plazo ayudarán a proporcionar información y conocimientos para proyectos futuros.

El manejo adaptativo es clave para el éxito a largo plazo de las SbN y permite la mejora continua del proyecto en su conjunto y del propio programa de monitoreo. Las actividades de monitoreo, por su parte, proporcionan los datos necesarios para evaluar el desempeño de las SbN y determinar si es necesario intervenir o cuándo es pertinente hacerlo.

Consideraciones administrativas y técnicas

El diseño y puesta en práctica de un plan de monitoreo implica tener en cuenta numerosos aspectos administrativos y técnicos. Las consideraciones administrativas incluyen tareas como el alcance del proyecto, el establecimiento de funciones y responsabilidades, la definición del acceso a los datos y su difusión, y la identificación de fuentes de financiamiento. Entre las consideraciones técnicas figuran actividades de planificación como el establecimiento de indicadores, parámetros y métodos de monitoreo, técnicas de monitoreo, la determinación de las escalas físicas y temporales de monitoreo pertinentes y el desarrollo de un programa de análisis de datos y elaboración de informes. Estas consideraciones se abordan en detalle en el informe y se resumen de forma breve a continuación:

- Determinación del alcance: En esta fase, el equipo del proyecto deberá determinar las necesidades, prioridades y los elementos de compensación, así como una teoría del cambio.
- Funciones y responsabilidades: Conviene identificar a los miembros del equipo y a las partes interesadas en una fase temprana del proceso de planificación. Las partes interesadas y las organizaciones a incluir en el desarrollo del plan de monitoreo pueden ser (entre otras): miembros de la comunidad afectada, líderes indígenas, grupos comunitarios locales, organizaciones sin ánimo de lucro, representantes del gobierno, la esfera académica y miembros de la industria.
- Financiamiento: Este factor constituye una de las principales limitantes de los proyectos de monitoreo. Es crucial, por lo tanto, identificar las necesidades en materia de recursos financieros y formular desde el primer momento una estrategia de financiamiento. Entre las posibles fuentes de financiamiento se encuentran las instituciones financieras internacionales, las instituciones gubernamentales, las organizaciones sin ánimo de lucro y las fuentes privadas.
- Indicadores y criterios de medición: Los indicadores de desempeño de las SbN deben incluir consideraciones de orden técnico (como las relativas a la gestión de los riesgos asociados con inundaciones), así como indicadores ecológicos, sociales y económicos. Los indicadores seleccionados deberán ser mensurables, viables, asequibles y ajustarse a las limitaciones de disponibilidad de recursos. Asimismo, se deben establecer parámetros que permitan definir los objetivos del proyecto, incluidos criterios que permitan identificar el momento en el que se hace necesaria una intervención.
- Métodos y técnicas: Las mediciones pueden ser directas o indirectas y proporcionar criterios de evaluación cualitativos, semicuantitativos o cuantitativos. En el documento de orientación asociado *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos* se plantean y describen una metodología e indicadores estandarizados.
- Escala física y ubicaciones: La escala física del programa general de monitoreo debe ajustarse en función de cada proyecto, dependiendo del tamaño de la intervención, los objetivos y las incertidumbres del proyecto, la escala prevista de impacto y el presupuesto disponible para las actividades de monitoreo.
- Escala temporal y frecuencia: La recogida de datos de monitoreo puede producirse con cuatro frecuencias características: recolección continua, según demanda, única y periódica. La frecuencia y la escala temporal (duración) del monitoreo también deben ajustarse específicamente a cada proyecto para satisfacer sus necesidades generales (por ejemplo, limitaciones financieras y características físicas del área), lo que también aplica al plan de manejo adaptativo.
- Análisis de datos: Los procedimientos de análisis de datos variarán dependiendo del tipo de datos de monitoreo recopilados. En cualquier caso, establecer procedimientos de aseguramiento y control de la calidad en una fase temprana del desarrollo del plan de seguimiento resultará crucial. Los procedimientos deben incluir el almacenamiento de toda la información y metadatos relevantes, al igual que la documentación de todos los procesos de manipulación de datos.

- Acceso a los datos y difusión: El acceso a los datos y su difusión deben tenerse en cuenta durante las fases de definición y planificación del programa de monitoreo. Siempre que sea posible, los datos deben ponerse a disposición del público en formatos accesibles. Existen múltiples formas de presentar y difundir datos y resultados; entre otras, artículos científicos, informes, presentaciones en conferencias, seminarios web, redes sociales, portales de datos y entrevistas.

Eficacia del monitoreo de las SbN en entornos y condiciones climáticas variables

La variabilidad de las condiciones ambientales y del emplazamiento, así como los cambios en las condiciones climáticas, pueden afectar la calidad y fiabilidad de los resultados del monitoreo. Algunas de las características relacionadas con el emplazamiento que pueden afectar la eficacia del seguimiento comprenden ventanas de marea operativa u horas de luz limitadas, crecimiento o cobertura excesivos de la vegetación, cobertura de hielo, acumulación de desechos, daños causados por tormentas, vandalismo de los equipos, proximidad limitada a los recursos (como ocurre en zonas remotas) y acceso general al emplazamiento. El cambio climático también puede repercutir en la eficacia de los programas de monitoreo al afectar el funcionamiento de los equipos y las técnicas de monitoreo, y modificar las condiciones de referencia y los objetivos de los indicadores de desempeño. Esencial para entender por qué y cómo cambian las condiciones específicas de cada lugar, el monitoreo también permitirá tener un entendimiento más cabal de los efectos del cambio climático, lo que a su vez servirá de base para futuras intervenciones.

A fin de contribuir a la gestión de los efectos del cambio climático, se recomienda adoptar un enfoque plurianual de manejo adaptativo para las actividades de monitoreo, en combinación con la investigación de los posibles efectos del fenómeno climático. Este plan a largo plazo deberá centrarse en el establecimiento de hitos y la identificación de puntos de inflexión que permitan determinar si el plan de monitoreo debe someterse a revisión y modificarse, y si deben reevaluarse los objetivos de desempeño y los valores de referencia.

Oportunidades y futuras iniciativas

El informe describe con todo detalle las oportunidades potenciales y las iniciativas futuras que los responsables de la toma de decisiones podrían implementar con el fin de ayudar a colmar las lagunas de datos y sortear los obstáculos prevalecientes. En particular, la creación de flujos de financiamiento adicionales y sostenidos para el monitoreo a largo plazo y el manejo adaptativo ejercería un impacto particular en la eliminación de las barreras que dificultan la implementación. A continuación, se resumen brevemente otras oportunidades clave:

- Elaborar o reconocer normas y directrices técnicas específicas para monitorear el uso de soluciones basadas en la naturaleza.
- Desarrollar sesiones informativas públicas y materiales accesibles en materia de monitoreo y manejo adaptativo.
- Fortalecer mediante programas de formación las capacidades técnicas de los miembros de comunidades locales y profesionales, en particular en relación con las prácticas de monitoreo remoto.
- Establecer una comunidad de prácticas para fomentar el intercambio de conocimientos.
- Trabajar para que los datos históricos, existentes y futuros, así como los estudios de caso, se pongan a disposición del público en un sitio reconocido y centralizado.
- Insistir en la necesidad de (o establecer como disposición) realizar procesos de monitoreo, aplicar un manejo adaptativo y poner los datos a disposición del público en los documentos de orientación, los requisitos para la obtención de fondos, los permisos, las solicitudes y las convocatorias para la presentación de propuestas.
- Simplificar los procesos de concesión de permisos (es decir, agilizar los trámites) para la construcción, monitoreo y manejo adaptativo de soluciones basadas en la naturaleza.

- Crear fuentes de financiamiento adicionales para proyectos que impliquen monitoreo a largo plazo, análisis y difusión de datos, al igual que manejo adaptativo.

Prefacio

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) es una organización trilateral que facilita la cooperación entre Canadá, Estados Unidos y México en favor de la conservación, protección y mejora del medio ambiente de América del Norte. En 2021, la CCA inició un proyecto con el fin de contribuir a orientar una instrumentación más amplia de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del riesgo que pueden traer consigo las inundaciones costeras en las comunidades de América del Norte. En términos generales, la iniciativa puede dividirse en las tres fases siguientes:

1. **Serie de talleres intersectoriales** dirigidos a sentar las bases de una comunidad de práctica en América del Norte, reunir a profesionales del sector para evaluar las necesidades y oportunidades e identificar los obstáculos a la implementación de soluciones basadas en la naturaleza.
2. **Conjunto de documentos de orientación** que permitan subsanar lagunas de conocimiento y seguir desarrollando oportunidades identificadas durante la serie de talleres, así como servir de guía para la aplicación de mejores prácticas por cuanto a soluciones basadas en la naturaleza.
3. **Seminarios web** destinados a mejorar la adopción y el uso de los documentos de orientación.

Como parte de la primera fase del proyecto se contrató a DHI Water and Environment Inc. (DHI), con miras a que elaborara y organizara la serie de talleres, que constó de siete sesiones celebradas a lo largo de un periodo de cinco semanas en mayo y junio de 2022. Las sesiones se centraron en los siguientes temas:

- 1A y 1B: Cobeneficios de las soluciones basadas en la naturaleza
- 2A y 2B: Reconversión de infraestructuras en pie utilizando soluciones basadas en la naturaleza
- 3A y 3B: Monitoreo de la eficacia de las soluciones basadas en la naturaleza
- 4: Taller de síntesis

La serie de talleres contó con la asistencia de 95 expertos del ámbito académico, el sector privado, el gobierno y organizaciones no gubernamentales (ONG) de todo América del Norte. Las actividades grupales —destinadas a fomentar lazos e intercambio; aportar ideas; recabar opiniones, e identificar lagunas, barreras y oportunidades— incluyeron discusiones sobre seis estudios de caso diferentes, cuatro series de actividades colaborativas en línea y dos series interactivas de preguntas y respuestas. La participación de las personas asistentes —de procedencias y experiencias muy diversas— y las ideas generadas sentaron una base sólida para crear una comunidad de práctica y nutrieron la elaboración de documentos de orientación sobre SbN en América del Norte.

La segunda fase del proyecto consistió en abordar lagunas de conocimiento identificadas en la serie de talleres mediante la elaboración y publicación de varios materiales amplios de orientación acerca de las SbN en un contexto urbano y periurbano de América del Norte. Este documento forma parte de dicha serie, cuyos cuatro componentes se recomienda consultar en su conjunto:

- Cobeneficios
- Reconversión de infraestructura en pie
- Monitoreo de la eficacia (*el presente documento*)
- Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a todos los participantes y ponentes de la serie de talleres de la CCA sobre soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del riesgo por inundaciones costeras en comunidades de América del Norte.

La elaboración de este informe se debe a los siguientes colaboradores:

- Aline Kaji, científica costera, DHI
- Jessica Wilson, jefa de proyecto e ingeniera costera, DHI
- Denise Devotta, científica ambiental, DHI
- Christian M. Appendini, asesor externo, DHI, y profesor, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Danker Kolijn, jefe de proyecto Soluciones Marinas y Costeras (para las Américas), DHI
- Tom Foster, vicepresidente de proyecto Soluciones Marinas y Costeras (para las Américas y el Pacífico), DHI

La Universidad Saint Mary's (*Saint Mary's University*, SMU) y la empresa de investigación CB Wetlands and Environmental Specialists Inc. (CBWES) proporcionaron con generosidad aportaciones y revisiones adicionales. En particular, queremos expresar nuestro agradecimiento a:

- Danika van Proosdij, profesora del Departamento de Geografía y Estudios Ambientales y directora de Adaptaciones Transcosteras (*TransCoastal Adaptations*, TCA): Centro de Soluciones Basadas en la Naturaleza, SMU
- Jennie Graham, vicepresidenta y especialista principal en restauración, CBWES

Un agradecimiento especial al comité directivo de la CCA, que aportó orientación y aportaciones valiosas a lo largo del proyecto:

- John Sommerville y Mary-Ann Wilson, ministerio de Recursos Naturales de Canadá (*Natural Resources Canada*)
- Laurence Forget-Dionne y Catherine Lafleur, ministerio de Infraestructura de Canadá (*Infrastructure Canada*)
- Enda Murphy, Consejo Nacional de Investigación de Canadá (*National Research Council of Canada*)
- Gloria Cuevas Guillaumin y Martha Niño Sulkowska, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)
- Pedro Joaquín Gutiérrez y Maxime Le Bail, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa)
- Leonel Álvarez Balderas, Isabel Selene Benítez Ávila y Juan Domingo Izabal Martínez, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
- Trisha Bergmann, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA) de Estados Unidos
- Julien Katchinoff, Departamento de Estado (*Department of State*) de Estados Unidos

1 Introducción

En Canadá, Estados Unidos y México se utilizan infraestructuras para la gestión de riesgos asociados con inundaciones con objeto de proteger zonas urbanas y rurales de eventos de inundación y prevenir la erosión. Cualquier fallo que se produzca en estos sistemas de infraestructura puede tener consecuencias catastróficas. Por ejemplo, el fallo del sistema de diques de Nueva Orleans (Estados Unidos) durante el huracán *Katrina* en 2005 provocó graves inundaciones y destrucción. Más de 1,100 personas perdieron la vida, otras más de 400,000 fueron desplazadas y los daños materiales superaron los miles de millones de dólares (ASCE, 2007). Se prevé que en las próximas décadas los riesgos por inundaciones costeras se intensifiquen aún más en toda América del Norte, como resultado del aumento de la densidad de población cerca de la costa y de los efectos del cambio climático (Bush y Lemmen, 2019; EPA, 2017; INECC, 2019).

La infraestructura en pie para la gestión de riesgos por inundación se basa en gran medida en métodos estructurales, como diques, malecones y espigones. Estos métodos convencionales tienen una larga historia de aplicación y gozan de una amplia representación en la literatura científica, documentos de orientación y normativas. Debido a su largo historial de uso y a la amplia bibliografía relativa a su diseño y desempeño, por lo general existe una confianza pública subyacente en que estas técnicas funcionarán según lo previsto. Por el contrario, las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) utilizan materiales y procesos naturales o características (híbridas) también basadas en la naturaleza, y combinan componentes naturales y estructurales para la gestión de los riesgos derivados de las inundaciones, al tiempo que proporcionan cobeneficios sociales, ambientales y económicos (Bridges *et al.*, 2021b; Tien *et al.*, 2020). Debido a la complejidad que entraña trabajar con procesos naturales, el uso de las SbN plantea una serie de nuevos retos en materia de diseño, monitoreo y gestión. Si bien aún se están formulando directrices y normas de diseño definitivas, en fechas recientes se han logrado avances significativos (por ejemplo, Bridges *et al.*, 2021b; Doswald *et al.*, 2021).

La adopción e implementación de las SbN se ven limitadas, entre otros factores, por la incertidumbre percibida respecto a la eficacia de este tipo de sistemas en contextos de:

- Fenómenos extremos como tormentas, huracanes o inundaciones;
- Entornos físicos variables que pueden no permitir una aplicación estandarizada de SbN;
- Variaciones temporales en el desempeño a lo largo del año, y
- Condiciones climatológicas cambiantes.

La clave para reducir estas incertidumbres reside en un manejo adaptativo y un monitoreo eficaces.

El manejo adaptativo responde a un enfoque estructurado e iterativo que permite a los usuarios revisar de manera continua las medidas de gestión (como el mantenimiento) con el fin de reflejar los cambios en las condiciones y los resultados variables de los proyectos (Bridges *et al.*, 2021b). Además, este tipo de gestión constituye un aspecto integral y transversal en la implementación de SbN (Bridges *et al.*, 2021b; Silva Zuniga *et al.*, 2020; World Bank, 2017). El monitoreo regular y a largo plazo establece los cimientos para que el manejo adaptativo y la futura implementación de SbN se lleven a cabo con eficacia.

El objetivo del presente documento es apoyar la adopción de SbN en comunidades costeras al proporcionar a los responsables de la toma de decisiones información práctica y orientaciones relacionadas con el monitoreo de la eficacia y los impactos de las SbN, y mediante el abordaje de varias lagunas de datos y obstáculos identificados con anterioridad. Forma parte de un amplio conjunto de documentos de orientación elaborados por DHI Water and Environment Inc. (DHI) en nombre de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), destinados a consultarse en su

conjunto como apoyo a la implementación de SbN para la gestión de los riesgos por inundación en zonas costeras de América del Norte. Los documentos de orientación a los que se hace referencia versan sobre los temas siguientes:

- Cobeneficios
- Reconversión de infraestructura en pie
- Monitoreo de la eficacia (*el presente documento*)
- Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos

1.1 Objetivos y alcance

Como parte de un proyecto en curso de la CCA dirigido a apoyar una instrumentación más amplia de SbN para la gestión de los riesgos derivados de inundaciones costeras en comunidades de América del Norte, en la primavera de 2022 se celebró una serie de talleres intersectoriales organizados por el DHI (DHI, 2022). La serie de talleres constó de siete sesiones y contó con la participación de 95 expertos de Canadá, Estados Unidos y México. Dos de estas sesiones se centraron de forma específica en el monitoreo de la eficacia de las SbN, y durante las mismas los asistentes participaron en la generación de ideas y en la identificación de lagunas de datos, obstáculos y oportunidades relacionadas con el monitoreo de las soluciones basadas en la naturaleza.

Este documento aborda las lagunas de conocimiento y las barreras identificadas en la serie de talleres, sintetiza información vigente y proporciona orientación práctica para planificar, evaluar e implementar programas de monitoreo efectivos asociados con las SbN que se ponen en funcionamiento para hacer frente a los riesgos derivados de las inundaciones en comunidades costeras. Se inscribe en un conjunto amplio de documentos de orientación destinados a apoyar a los responsables de la toma de decisiones en la instrumentación de SbN para la gestión de los riesgos por inundación en zonas costeras del subcontinente.

Más concretamente, el presente documento tiene por objeto:

- Proporcionar una propuesta de valor para la inversión en procesos de monitoreo.
- Presentar un resumen de las principales consideraciones administrativas relacionadas con los planes de monitoreo, incluidas la definición de funciones y responsabilidades, los problemas de financiamiento, al igual que el acceso a los datos y su difusión.
- Ofrecer una visión general de los principales aspectos técnicos que deben tenerse en cuenta en los planes de monitoreo, como indicadores, métodos, entornos físicos variables y escalas temporales y espaciales.
- Aportar estudios de caso sobre la importancia del monitoreo en la evaluación de la eficacia, el desempeño y la resiliencia de las soluciones basadas en la naturaleza.
- En la medida de lo posible, abordar las lagunas y obstáculos identificados durante la serie de talleres intersectoriales celebrados con anterioridad.

Este documento se propone brindar orientación y datos que sirvan de apoyo a los responsables de la toma de decisiones en la implementación y el monitoreo a mayor escala de soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los riesgos derivados de las inundaciones en las comunidades costeras. La guía que se ofrece está diseñada para ayudar a estos actores en todas las fases del proceso del proyecto, desde la conceptualización hasta el diseño y la operación. El documento no ofrece una orientación técnica en profundidad ni una revisión exhaustiva de la bibliografía cada vez más abundante sobre la metodología de monitoreo y soluciones basadas en la naturaleza.

Encuéntrese más material de lectura y documentos clave relativos al monitoreo de las SbN en el apartado 1.4.

1.2 Importancia del monitoreo de las soluciones basadas en la naturaleza

Como parte de la serie de talleres de la CCA dedicados a las soluciones basadas en la naturaleza (DHI, 2022), se pidió a expertos de Canadá, Estados Unidos y México describir la utilidad del monitoreo de este tipo de soluciones. Las respuestas se agrupan en las categorías generales que figuran en el recuadro 1.

Recuadro 1. Actividades que se benefician de las aportaciones que surgen de los procesos de monitoreo o que las precisan



Evaluación del desempeño de la gestión de los riesgos por inundación



Evaluación de los cobeneficios



Evaluación de impactos no deseados



Orientación del manejo adaptativo



Cumplimiento de los requisitos del proyecto

(por ejemplo, requisitos de financiamiento)



Intercambio de conocimientos

(por ejemplo, investigación y desarrollo de directrices)



Mejora de la rendición de cuentas y aprobación de la opinión pública



Posibilidad de comparar soluciones para la gestión de los riesgos por inundación

(por ejemplo, comparar las SbN con los métodos estructurales convencionales)



Refuerzo de capacidades y creación de empleo

Uno de los principales obstáculos conocidos (véase el apartado 1.3) para la instrumentación de las SbN guarda relación con la incertidumbre percibida respecto a los resultados a lo largo del tiempo en diversos entornos y a varias escalas. El monitoreo y el manejo adaptativo contribuyen a garantizar que cualquier deficiencia se gestione de forma proactiva, reduciendo de este modo la posibilidad de que no se cumplan los objetivos de la gestión de los riesgos por inundación o de que no se obtengan los beneficios conjuntos previstos. La difusión amplia de esos datos contribuye además a mejorar la aceptación pública y apoya la investigación futura acerca de las SbN. El intercambio de conocimientos puede dar lugar a nuevas perspectivas sobre el funcionamiento de este tipo de soluciones y, en última instancia, a la elaboración de nuevas orientaciones técnicas para su futura puesta en funcionamiento (Connop *et al.*, 2016; Raymond *et al.*, 2017). Por otro lado, la puesta en común de conocimientos puede propiciar cambios en las políticas que se fundamenten en hechos.

En la práctica, el alcance y la escala de las iniciativas de monitoreo deben responder a las necesidades generales del proyecto, a los riesgos asociados y a las limitaciones presupuestarias. En consecuencia, el valor del monitoreo dependerá de los detalles específicos del proyecto y del tipo de SbN empleada. Por otra parte, durante la serie de talleres antes mencionada (DHI, 2022) se consultó a los expertos sobre el grado de importancia que reviste el monitoreo en una amplia gama de soluciones para la gestión de los riesgos por inundación. De acuerdo con éstos, las actividades de monitoreo son pertinentes para todos los proyectos relacionados con ese tipo de gestión de riesgos; sin embargo, adquieren mayor importancia en los proyectos que dependen en mayor medida de sistemas naturales

o basados en la naturaleza y que, por tanto, se sitúan más en el extremo “verde” del espectro “verde-gris” de la infraestructura. El documento de orientación *Reconversión de infraestructura en pie* ofrece una definición e información adicional sobre el espectro “verde-gris” mencionado.

1.3 Lagunas en la información y obstáculos que dificultan los procesos de monitoreo

El recuadro 2 ofrece un resumen y un análisis más amplio de los obstáculos identificados durante la serie de talleres de la CCA relativos al monitoreo de la eficacia de SbN (DHI, 2022). Cabe notar que entre los profesionales existe consenso en que el monitoreo y el manejo adaptativo constituyen elementos fundamentales para la implementación eficaz de SbN para la gestión de los riesgos asociados a las inundaciones. A pesar de ello, también parece existir una percepción subyacente entre el público y algunos responsables de la toma de decisiones de que los procesos de monitoreo son opcionales o, mejor dicho, de que no son fundamentales. Esta percepción se materializa en la falta de financiamiento disponible para el monitoreo a largo plazo y el manejo adaptativo. En los casos en que se dispone de financiamiento, a menudo sólo cubre un corto periodo posterior a la construcción, por lo general de uno a cinco años. Además, en los requisitos obligatorios de los proyectos se observa una falta de integración del monitoreo y el manejo adaptativo (DHI, 2022).

Este informe se propone colmar varias de las lagunas de datos y obstáculos identificados en los casos en que sea posible (véase el recuadro 2) y, cuando no lo sea, identificar métodos para abordarlas a través de otras iniciativas (consúltese el apartado 6). Entre los obstáculos analizados en el presente informe se encuentran los sociales o actitudinales y los técnicos, que pueden paliarse (de forma parcial) con información u orientaciones adicionales. No se consideran las barreras cuyo abordaje requiere que los responsables de la toma de decisiones adopten medidas complementarias (como el establecimiento de fuentes de financiamiento).

Otros vacíos y omisiones en los datos y obstáculos relacionados con los cobeneficios que aportan las SbN y con la renovación o reconversión de las infraestructuras existentes con SbN se describen en los documentos de orientación asociados: *Cobeneficios* y *Reconversión de infraestructura en pie*. Asimismo, en Dumitru y Wendling (2021) se presenta una extensa lista de brechas de conocimientos desde diferentes perspectivas; por ejemplo, la profesional, científica, comunitaria y del sector privado).

Recuadro 2. Barreras que dificultan el monitoreo de la eficacia de las SbN

	Tipos de barreras	Objeto de este informe
	Sociales o actitudinales	
	• Percepción del monitoreo como un costo extra o innecesario	☒
	• Desconfianza en los datos cualitativos y el monitoreo participativo	☒
	Técnicas	
	• Falta de integración del monitoreo y el manejo adaptativo en las fases de planificación, diseño e implementación	☒
	• Falta de orientaciones claras en materia de monitoreo, que da lugar a enfoques inconsistentes	☒
	• Necesidad de la participación de expertos de distintas disciplinas para efectuar un monitoreo eficaz de los beneficios conjuntos (por ejemplo, la participación de expertos en ciencias sociales)	☒
	• Falta de profesionales formados y cualificados	☐
	• Capacidad y disponibilidad de personal	☐
	• Necesidad de equipos especializados y costosos	☒
	• Logística a largo plazo que plantea dificultades de gestión	☐
	• Limitaciones de acceso físico	☒
	• Mala distribución de los datos (por ejemplo, falta de transparencia)	☒
	• Datos incompletos o inexistentes (por ejemplo, falta de datos de referencia)	☒
	• Falta de estudios de caso e inventarios actualizados y aptos para su uso (que demuestren resultados tanto positivos como negativos)	
	Ambientales	
	• Variabilidad estacional y a largo plazo de los sistemas naturales	☐
	Institucionales	
	• Falta de financiamiento	☐
	• Se carece de requisitos obligatorios en materia de monitoreo en los programas vigentes	☐
	• Enfoque en horizontes a corto plazo como parte de los programas vigentes	☐
	• Obstáculos normativos que imponen limitaciones de plazos, financiamiento y acceso	☐
	• Conflicto entre requisitos jurisdiccionales o de agencias	☐
	• Corrupción	

Fuente: Adaptado de la información relativa a obstáculos identificados en el marco de la serie de talleres intersectoriales sobre SbN organizados por DHI por encargo de la CCA en la primavera de 2022.

1.4 Lecturas complementarias

En la elaboración de este informe se revisaron y tomaron como referencia numerosas publicaciones. Estos documentos —junto con la serie de talleres de la CCA en torno a SbN— sirvieron de base para la elaboración de las orientaciones, procesos y consideraciones esbozadas en el presente informe. A

continuación, se enumeran los principales materiales de referencia que pueden proporcionar al lector más información y orientación técnica al respecto.

- Evaluación del impacto de las soluciones basadas en la naturaleza: Manual para profesionales (*Evaluating the Impact of Nature-Based Solutions - A Handbook for Practitioners*), Comisión Europea (Dumitru y Wendling, 2021) 
- Aumento de la resiliencia de las infraestructuras con soluciones basadas en la naturaleza (SbN): Documento de orientación técnica en 12 pasos para promotores de proyectos (*Increasing Infrastructure Resilience with Nature-based Solutions (NbS): A 12-Step Technical Guidance Document for Project Developers*), Banco Interamericano de Desarrollo (Silva Zuniga, 2020) 
- Directrices internacionales sobre elementos naturales y basados en la naturaleza para la gestión de los riesgos por inundación (*International Guidelines on Natural and Nature-based Features for Flood Risk Management*), Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (Bridges *et al.*, 2021b) 
- Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de los riesgos asociados a las inundaciones y la erosión costeras y fluviales (*Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management*), Asociación Canadiense de Normalización y Consejo Nacional de Investigación de Canadá (Vouk *et al.*, 2021) 

2 El proceso de monitoreo

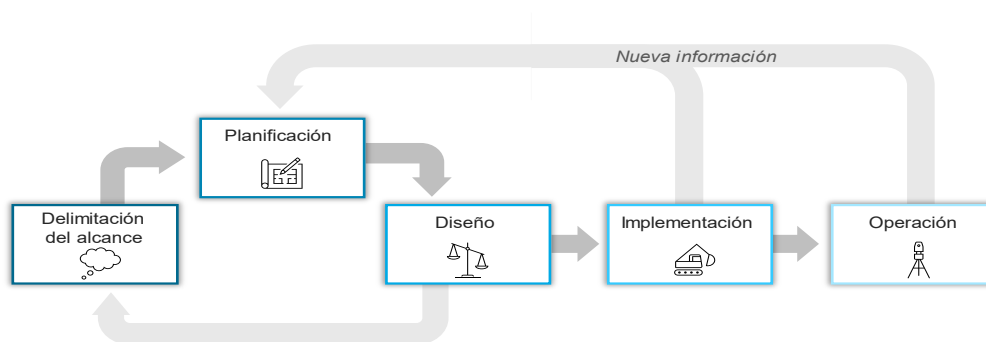
Dada la naturaleza intrínsecamente dinámica de las SbN, uno de los principios clave para el éxito de un proyecto de este tipo es esperar cambios y aplicar un manejo adaptativo (Bridges *et al.*, 2021b). Por consiguiente, el monitoreo es una parte esencial del ciclo de los proyectos de SbN. Este apartado ofrece una visión de conjunto del proceso general de implementación de SbN, detalla las fases de planificación específicas del monitoreo, esboza las diferentes etapas del monitoreo y describe la relación con el manejo adaptativo. Además, se incluyen estudios de caso que ilustran conceptos centrales ligados a la concepción y ejecución de iniciativas de monitoreo.

2.1 Fases del proyecto para la implementación de SbN

Un marco típico para la preparación de un proyecto de SbN abarca cinco fases principales: definición del alcance, planificación, diseño, implementación y operaciones (véase la gráfica 1) (Bridges *et al.*, 2021b). Estas fases no constituyen un proceso lineal, sino cíclico. Su carácter cíclico promueve la reevaluación continua y la actualización de los planes en cualquier momento del desarrollo del proyecto.

En el caso de los proyectos convencionales de gestión de riesgos asociados con los eventos de inundación, por lo general se considera que el monitoreo forma parte de la fase de operaciones; sin embargo, en el caso de las SbN resulta crucial que los planes de monitoreo y los requisitos de evaluación del desempeño se establezcan en una fase temprana del ciclo del proyecto, durante las etapas de definición del alcance y planificación. Esto incluye también iniciar el programa de monitoreo para adquirir suficientes datos de referencia antes de la ejecución del proyecto.

Gráfica 1. Marco para el desarrollo de un proyecto SbN



Fuente: adaptado de Bridges *et al.*, 2021b

2.2 Fases de planificación para monitorear la eficacia de las SbN

El monitoreo puede emplearse para realizar un seguimiento del proceso de implementación, lo que proporciona retroalimentación al manejo adaptativo, al igual que para evaluar el desempeño de las SbN de acuerdo con los resultados esperados, midiendo el avance en función de los objetivos predefinidos y los cambios con respecto al punto de referencia (Dumitru y Wendling, 2021). Los

programas de monitoreo de SbN también pueden generar una serie de otros beneficios, como se describe en el apartado 1.2.

La concepción de un plan de monitoreo y manejo adaptativo debe iniciarse en las fases de definición del alcance del proyecto. De Looff *et al.* (2021) proponen un marco exhaustivo para el desarrollo de un plan de manejo adaptativo que incluye acciones clave, como la definición del alcance y los indicadores de desempeño, la creación de estrategias de financiamiento, la formulación de un programa de monitoreo y la identificación de acciones y escenarios adaptativos. En resumen, las fases generales para el monitoreo son:

1. Definición del alcance: Identificar la escala y el alcance del plan de manejo adaptativo, priorizar las acciones, definir los titulares de derechos y las partes interesadas, y definir las estrategias de financiamiento.
2. Planificación: Determinar los parámetros de interés, establecer indicadores de desempeño, realizar un inventario de las redes de monitoreo actuales, identificar lagunas de datos, recursos potenciales y personal para llevar a cabo el programa de monitoreo.
3. Diseño: Preparar un programa de monitoreo (incluido el monitoreo del punto de partida) previo a la implementación del proyecto, determinar qué tipo de monitoreo es adecuado para cada métrica de desempeño, establecer protocolos de recolección y gestión de datos.
4. Implementación: Llevar a cabo inspecciones y estudios regulares de la construcción, realizar un seguimiento periódico y evaluar los resultados.
5. Presentación de informes: Revisar, sintetizar y comunicar los datos, transmitir las conclusiones al equipo del proyecto y al contratista durante las fases de construcción y operación y orientar a otras partes interesadas.
6. Evaluación: Realizar un seguimiento y evaluación periódicos de los resultados, evaluar el desempeño de las SbN, proponer modificaciones a las SbN (aplicando un manejo adaptativo) y reevaluar y adaptar el programa de monitoreo.

El diseño del programa de monitoreo debe ser exhaustivo y riguroso, aunque lo suficientemente flexible como para permitir su adaptación a lo largo de su vida útil y también a medida que se presenten cambios en las condiciones climatológicas. El programa de monitoreo también debe ser práctico y económico, de modo que no resulte oneroso financiarlo o aplicarlo a lo largo del tiempo (Palinkas *et al.*, 2022). Un plan de monitoreo bien definido presenta enormes ventajas en cuanto a la mejora de la comunicación entre el equipo del proyecto y el establecimiento de una evaluación sistemática del desempeño (véase el estudio de caso 1).

En particular, la escala y complejidad del proyecto, sus posibilidades de financiamiento y otras particularidades del proyecto dictarán el grado de esfuerzo que deba invertirse en el monitoreo. Las consideraciones administrativas y técnicas para elaborar un plan de monitoreo se detallan en los apartados 3 y 4, respectivamente.

2.3 Etapas del proceso de monitoreo

El monitoreo debe incorporarse a lo largo de todo el ciclo del proyecto de SbN, ya sea como un proceso continuo o puesto en marcha por eventos o necesidades específicas (por ejemplo, inspección posterior a la construcción o datos recopilados antes y después de una tormenta). El monitoreo puede dividirse en cuatro grandes etapas:

1. **Monitoreo histórico.** Contribuye a la delimitación del alcance y a la planificación del proyecto y puede implicar el uso de trabajos de monitoreo realizados por terceros antes de la conceptualización del proyecto.

2. **Monitoreo del punto de partida.** Establece las condiciones existentes, actúa como referencia para monitorear el desempeño y aporta información para el diseño.
3. **Monitoreo del cumplimiento (incluido el monitoreo de la construcción y las inspecciones conforme a obra).** Alimenta el manejo adaptativo durante la construcción, sirviendo de base para las modificaciones del proceso de construcción, y se extiende después de la construcción para garantizar la conformidad y establecer un punto de partida para la evaluación del desempeño.
4. **Monitoreo operativo (a largo plazo).** Se utiliza para evaluar el desempeño a lo largo del tiempo y orientar el manejo adaptativo, medir los beneficios e impactos del proyecto y dar fundamento a futuros proyectos.

El recuadro 3 presenta un resumen de las tareas que pueden llevarse a cabo durante las distintas fases de monitoreo. Dada la importancia de establecer una base de referencia sólida para evaluar el desempeño futuro de las SbN, la creación y mantenimiento de redes de monitoreo regionales a largo plazo que puedan proporcionar datos de referencia para los proyectos de SbN reviste una importancia clave. A menudo, comenzar la recolección de datos cuando un proyecto está aún en fase de conceptualización puede no producir suficiente información para definir a fondo las condiciones de referencia.

Más detalles respecto a la metodología de monitoreo, incluido un análisis del enfoque de monitoreo antes-después control-impacto (BACI, por sus siglas en inglés) se pueden encontrar en el documento de orientación asociado *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos*.

Recuadro 3. Etapas de monitoreo y acciones asociadas

Histórico	Punto de partida	Cumplimiento	Operativo
• Recopilar datos históricos, datos de seguimiento anteriores y estudios del lugar donde se ejecuta el proyecto • Reunir datos históricos de proyectos comparables (ya sea de un entorno físico similar o de un tipo de SbN) • Evaluar las redes de monitoreo vigentes en busca de lagunas (específicas con respecto al proyecto) • Determinar si se necesita algún tipo de monitoreo adicional (espacial y temporal), y de qué naturaleza, para aportar información al diseño y al valor de referencia	• Implementar un programa de monitoreo del punto de partida • Evaluar el programa de monitoreo del punto de partida mediante el análisis de datos • Comparar los datos de monitoreo del valor de referencia con los datos históricos • Adaptar el programa de monitoreo del punto de partida, si es necesario • Consolidar la información que se utilizará en el diseño • Establecer las condiciones de base • Elaborar un plan de comunicación y datos para apoyar la construcción • Desarrollar planes de cumplimiento y monitoreo operativo Definir indicadores de desempeño y criterios de medición	• Implementar el programa de monitoreo del cumplimiento (que por lo general incluye sondeos e inspecciones) • Evaluar el monitoreo del cumplimiento en relación con el punto de partida del proyecto • Garantizar una comunicación clara y constante con el equipo del proyecto y el contratista • Adaptar los métodos de monitoreo y el proceso de construcción, en caso necesario • Establecer el punto inicial para la evaluación del desempeño (inspección conforme a obra)	• Instalar instrumentos para el monitoreo a largo plazo de las propiedades físicas • Realizar estudios medioambientales, socioeconómicos y de desempeño, con arreglo al plan de monitoreo • Analizar y comunicar los datos obtenidos • Evaluar el desempeño en comparación con las condiciones de referencia y de partida • Estimar los posibles impactos imprevistos • Gestionar las SbN en función de los datos de monitoreo y de acuerdo con el plan de manejo adaptativo • Reevaluar el plan de seguimiento y adaptarlo en caso necesario

Estudio de caso 1. Restauración de la Isla del Cisne

Restauración de la Isla del Cisne:

Restauración de los servicios ecosistémicos y protección del litoral

Bahía de Chesapeake, Maryland
Estados Unidos

La isla del Cisne (*Swan Island*) forma parte de un complejo de islas pantanosas en la bahía de Chesapeake que, entre otras funciones, proporciona protección costera a la ciudad de Ewell, Maryland, al actuar como rompeolas natural (Whitfield *et al.*, 2022). Debido a los impactos combinados del aumento del nivel del mar, el hundimiento del terreno y el suministro inadecuado de sedimentos, las islas y marismas costeras de la zona están desapareciendo a gran velocidad.

En 2019, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos depositó aproximadamente 45,900 m³ de sedimentos, dragados de un canal de navegación cercano, con el fin de restaurar la extensión y las elevaciones de la Isla del Cisne. Se crearon dunas y zonas pantanosas altas y bajas y se instalaron 200,000 plantas (NOAA-NCCOS, 2022). Un equipo multiinstitucional del proyecto elaboró un minucioso Plan de Monitoreo y Manejo Adaptativo (MAMP, por sus siglas en inglés) destinado a hacer un seguimiento de los avances y servir de modelo para las actividades de monitoreo y la estrategia de manejo adaptativo.

El MAMP describe funciones y responsabilidades, metodologías de monitoreo y criterios para la medición del desempeño, pautas para la presentación de informes, gestión de datos y factores de activación del manejo adaptativo. También se previó que sirviera de modelo para futuros sitios de restauración (al proporcionar un enfoque transferible) y se adoptó el compromiso de efectuar actualizaciones periódicas (en otras palabras, la aplicación de un manejo adaptativo) (Whitfield *et al.*, 2022).

El área del proyecto ha sido objeto de monitoreo desde 2018 (NOAA-NCCOS, 2022). Como parte de la evaluación del desempeño y de los beneficios producidos por el proyecto, y con el fin de orientar las acciones de manejo adaptativo, se recopilaban todos los parámetros de datos hidrodinámicos, topográficos, ecológicos y de sedimentos pertinentes. Las iniciativas de monitoreo incluyeron:

- Instalación de cuatro plataformas alrededor de la isla con sensores para medir olas, corrientes, nivel del agua y sedimentos disponibles en la columna hídrica.
- Estudios ecológicos y topográficos anuales en lugares de muestreo fijos, destinados a documentar los cambios en la elevación, vegetación y sedimentos a lo largo del tiempo, a medida que el sitio madura.

Los resultados preliminares y la evaluación del desempeño dos años después de la ejecución del proyecto indican que las obras de restauración alcanzaron las elevaciones deseadas y que la zona alta de la marisma gozaba de buena salud y se encontraba en crecimiento (NOAA-NCCOS 2022). Sin embargo, las plantaciones de la zona baja de la marisma no sobrevivieron y la gran cantidad de zonas sin cubierta vegetal derivó en un incumplimiento de los criterios de desempeño. En respuesta, se introdujo vegetación adicional, incluso mediante una estrategia experimental de plantaciones agrupadas.

A fecha de redacción del presente informe, el proyecto se encuentra aún en las primeras fases del monitoreo posterior a la construcción. Con todo, el enfoque de manejo adaptativo propuesto en el MAMP ha resultado beneficioso y ha favorecido una comunicación y coordinación eficaces. Puede encontrarse información adicional en NOAA-NCCOS (2022):

<<https://storymaps.arcgis.com/stories/7156cfc6353048ad92ef80f737b77c29>

Gráfica 2. Mediciones de elevación



Fuente: NOAA-NCCOS, 2022

Gráfica 3. Imágenes aéreas de la isla del Cisne en 2017 (antes de la colocación de sedimentos) 2019, 2020 y 2021 (después de la colocación de sedimentos)



Fuente: NOAA-NCCOS. 2022

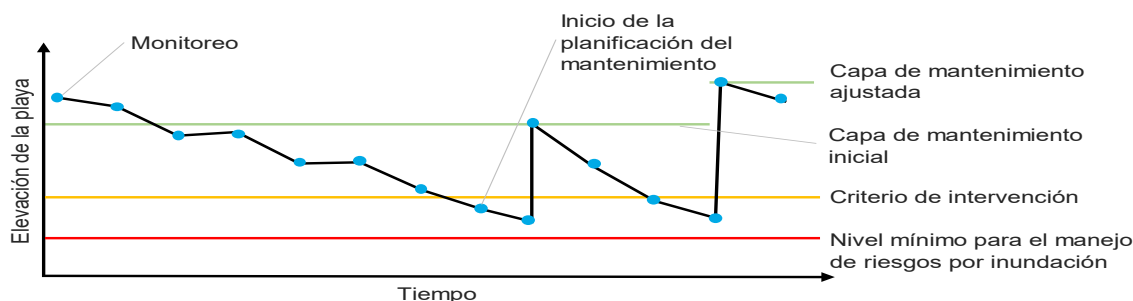
2.4 Vinculación con el manejo adaptativo

El manejo adaptativo se basa en el principio de abordar y reducir las incertidumbres en los proyectos de SbN mediante una implementación por fases. Este tipo de gestión reconoce la naturaleza dinámica del entorno y se centra en los aspectos del proyecto que pueden controlarse o adaptarse, lo que aumenta la flexibilidad en las fases de planificación y permite que el diseño evolucione con el tiempo (De Looff *et al.*, 2021, y sus referencias). Esto reviste especial importancia en el contexto de la resiliencia climática, dadas las incertidumbres de las proyecciones climáticas y el modo en que éstas se manifiestan en el medio ambiente a lo largo del tiempo. Los conceptos y prácticas del manejo adaptativo son fundamentales en el ciclo de los proyectos de SbN (descrito en el apartado 2.1) y en el ciclo de planificación del monitoreo (descrito en el apartado 2.2).

Las actividades de monitoreo constituyen un componente esencial del manejo adaptativo, ya que aportan datos esenciales para reducir las incertidumbres, evaluar la eficacia de las SbN, modificar el diseño de este tipo de soluciones o el programa de monitoreo y promover el desarrollo de los conocimientos sobre SbN. Por lo tanto, el programa de monitoreo debe diseñarse en conjunto con el plan de manejo adaptativo. La selección de indicadores y criterios de medición para evaluar el desempeño (discutidos en el apartado 4.1) proporciona información para ayudar a abordar incertidumbres importantes relacionadas con el diseño y la gestión.

También conviene comprender la necesidad de una retroalimentación oportuna entre el programa de monitoreo y el manejo adaptativo, que ayude a facilitar la adopción de medidas por parte de los responsables de la toma de decisiones, sobre todo en etapas tan críticas como la construcción o cuando se requieren intervenciones posteriores a la misma (véase el estudio de caso 2). Por ejemplo, la gráfica 4 ilustra de qué manera los datos de monitoreo históricos y actuales relacionados con la elevación de la playa (por ejemplo) podrían sustentar las decisiones relativas al momento en que se debe llevar a cabo una regeneración adicional de la playa y de esa forma lograr la consecución de los criterios de medición establecidos por el programa de gestión de riesgos por inundación. En este ejemplo, cuando los datos de monitoreo revelan que la elevación de la playa se encuentra por debajo del criterio de intervención, se inicia la planificación de las actividades de mantenimiento para garantizar que se cumple con el criterio relativo a la capa de desgaste o de mantenimiento. Con el tiempo puede ser necesario ajustar el propio criterio de la capa si los resultados del monitoreo indican que ésta no tiene la duración deseada o en previsión de posibles impactos futuros del cambio climático (véase el apartado 5.2).

Gráfica 4. Modelo conceptual de los datos de monitoreo sobre elevación de la playa que se integran en el proceso de toma de decisiones para el manejo adaptativo



Fuente: adaptado de Looff *et al.*, 2021, 290

Para obtener más información con respecto al manejo adaptativo, consulte *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management, Chapter 7: Adaptive Management* [Directrices internacionales sobre elementos naturales y basados en la naturaleza para la gestión de los riesgos por inundación, capítulo 7: Manejo adaptativo] (De Looff *et al.*, 2021).

Estudio de caso 2. Construcción de dunas híbridas en la playa estatal de Cardiff

Construcción de dunas híbridas en la playa estatal de Cardiff:

Encinitas, California
Estados Unidos

Monitoreo y manejo adaptativo en acción

Cerca de Encinitas, California, un segmento de la autopista 101 está situado en una lengua de arena y bordeado por la playa estatal de Cardiff. La playa y la autopista se hallan expuestas al fuerte oleaje y al nivel de las aguas del océano Pacífico, motivo por el cual se han cerrado más de 40 autopistas como consecuencia de las inundaciones y la erosión que provocan las olas (Winters *et al.*, 2020). Los últimos intentos de estabilizar la costa han resultado insuficientes (Winters *et al.*, 2021).

La ciudad de Encinitas —en colaboración con numerosas dependencias, entidades reguladoras, organismos de subvención, miembros de la industria y la comunidad académica— inició un proyecto híbrido de SbN dirigido a mejorar la resiliencia del área frente a las inundaciones y la erosión costeras, que se prevé que empeoren a medida que aumente el nivel del mar (Moffatt y Nichol y San Elijo Lagoon Conservancy, 2016). El proyecto consistió en la construcción de un revestimiento enterrado con una extensa berma o muro de contención de arena y una berma de pie de piedras de canto rodado pequeña y soterrada (Winters *et al.*, 2020). En la berma se plantó vegetación autóctona y se colocaron vallas con miras a favorecer el hábitat. Se establecieron puntos de acceso a la playa delineados para el acceso peatonal. El trabajo se completó en junio de 2019 y se extendió a lo largo de aproximadamente 880 metros lineales de costa. Cabe destacar que se anticipó el mantenimiento periódico de las obras (Moffatt y Nichol y San Elijo Lagoon Conservancy, 2016) y se planificó un programa extensivo de monitoreo de la playa, que incluyó inspecciones con drones antes, durante y después de la construcción (Winters *et al.*, 2020).

Uno de los objetivos del estudio “durante la construcción” fue medir la ubicación del revestimiento y el tamaño de los guijarros a fin de generar capas subterráneas para futuros trabajos de modelización. Las inspecciones posteriores a la construcción se centraron en capturar los cambios estacionales e, inducidos por las tormentas en el perfil de la playa para evaluar el desempeño del programa de gestión de riesgos por inundación, aportar información al manejo adaptativo y proporcionar datos locales acerca de la eficacia de este enfoque.

El monitoreo entre 2019 y 2021 reveló una extensa erosión en la parte inferior de la playa y en la línea de pie de la duna (Winters *et al.*, 2021). Las labores de monitoreo sirvieron de base para tomar la decisión de retirar o recortar el vallado y proceder a un nuevo acondicionamiento de la playa. El monitoreo también detectó la formación inesperada de sumideros cerca de los accesos peatonales debido a inundaciones, lo que dio lugar a operaciones de mantenimiento de emergencia y a una evaluación hidrológica adicional. Se prevé continuar con las labores de monitoreo y con el manejo adaptativo.

Gráfica 5. Construcción de dunas: después de su construcción (izquierda) y al cabo de dos temporadas invernales con erosión (derecha)



Fuente: Winters *et al.*, 2021

3 Consideraciones administrativas para establecer un plan de monitoreo

En este apartado se exponen las principales consideraciones administrativas para la toma de decisiones relacionadas con la formulación e implementación de planes de monitoreo que respalden el uso de las SbN. También incluye un resumen relativo a la definición del alcance del plan de monitoreo, funciones y responsabilidades, desafíos en materia de financiamiento, así como acceso y difusión de datos. Las consideraciones técnicas se resumen en el apartado 4. A lo largo de este apartado se incluyen estudios de caso que ponen de relieve conceptos clave o consideraciones administrativas en relación con la puesta en funcionamiento de un plan de monitoreo. Finalmente, en el documento de orientación asociado *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos* se ofrecen guías más detalladas sobre el monitoreo de la metodología y los indicadores de desempeño.

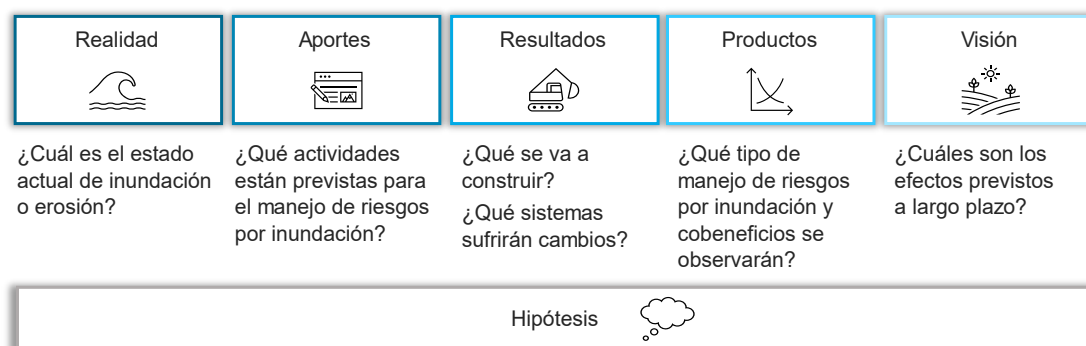
3.1 Ámbito de acción

La determinación del alcance del plan de monitoreo y de manejo adaptativo constituye la primera fase del ciclo del plan de monitoreo (véase el apartado 2.2). La determinación del alcance requiere una comprensión clara de las necesidades del proyecto, incluidos sus objetivos, la problemática a abordar y sus limitaciones, con el fin de identificar las prioridades y definir la escala y el alcance de las iniciativas de monitoreo. Durante esta etapa es importante disponer de una comprensión general de las consideraciones técnicas (véase el apartado 4) e identificar las posibles oportunidades de financiamiento, las necesidades del proyecto y las funciones de las partes interesadas.

Las consideraciones administrativas suelen ser específicas para cada proyecto y deben evaluarse a conciencia al inicio del mismo. Por ejemplo, una SbN a escala de barrio destinada a proteger zonas urbanas cuenca abajo de inundaciones catastróficas debería tener un ámbito de aplicación de monitoreo muy diferente al de una SbN a escala de propiedad destinada a proteger contra la erosión inducida por inundaciones menores. Identificar a las partes interesadas, a los titulares de derechos y las limitaciones financieras reviste especial importancia desde un primer momento, ya desde la fase de definición del alcance, con objeto de establecer con claridad las funciones y responsabilidades (véase el apartado 3.2) e identificar las oportunidades de déficit de financiamiento que deben cubrirse (véase el apartado 3.3).

Otra acción clave para la gestión fundamentada en pruebas es establecer una teoría del cambio, delineando una trayectoria proyectada sobre cómo se espera que la intervención produzca cambios (Gertler *et al.*, 2016). Esta teoría puede utilizarse para evaluar el desempeño de las SbN, al tiempo que permite elaborar y aplicar un plan de manejo adaptativo.

Gráfica 6. Teoría del cambio para proyectos de gestión de riesgos asociados con los eventos de inundación



Fuente: adaptado de Dumitru y Wendling, 2021

3.2 Funciones y responsabilidades

Los miembros del equipo del proyecto, los titulares de derechos y las partes interesadas deberán identificarse en una fase temprana del proceso general de implementación de SbN y del proceso de desarrollo del plan de monitoreo.

A fin de identificar de manera proactiva las necesidades, los problemas potenciales y las oportunidades, tanto durante el desarrollo del plan de monitoreo como durante su implementación, es preciso contar con la participación regular de los interesados directos, al igual que con una comunicación bidireccional (Bridges *et al.*, 2021b). El establecimiento de una comunicación frecuente también ayuda a generar confianza y responsabilidad entre el equipo del proyecto y las partes interesadas, un aspecto fundamental para la adopción de las SbN (véase el apartado 1.3). Por otro lado, durante las fases de planificación, es esencial que exista una estrecha cooperación entre la comunidad científica, el equipo del proyecto y los encargados de la definición de políticas, con objeto de garantizar que el programa de monitoreo se inicie en una fase suficientemente temprana del proyecto y cuente con un enfoque apropiado para satisfacer tanto las necesidades del proyecto como los estándares científicos (Van Eekelen y Bouw, 2021).

Como parte del proceso de monitoreo deben asignarse funciones y responsabilidades claras a los miembros del equipo y a las partes interesadas (Silva Zuniga *et al.*, 2020). Éstas pueden dividirse en varias categorías de trabajo, como decisiones estratégicas clave, actividades específicas de investigación involucradas en el monitoreo, trabajo de campo, análisis de datos, almacenamiento y difusión, y apoyo general en todas las etapas del programa de monitoreo.

Cuando en el proceso participan varios grupos, resulta particularmente importante identificar los puntos de contacto y las relaciones de dependencia entre las distintas funciones y así garantizar que se cubren todos los aspectos del plan y evitar la duplicación de tareas.

3.2.1 Consideraciones relativas a quién debe participar

En cada iniciativa de SbN se prevé la necesidad de contar con un grupo específico de personas y organizaciones encargadas de apoyar y guiar el proyecto en su conjunto y el programa de monitoreo. Entre los actores y organizaciones importantes a incluir en la preparación del plan de monitoreo pueden figurar miembros de las comunidades afectadas, grupos comunitarios locales, organizaciones sin ánimo de lucro, representantes del gobierno, la esfera académica y miembros de la industria. También se deberá consultar e involucrar a los representantes de los titulares de derechos, como las

Como parte de la serie de talleres de la CCA sobre SbN (DHI, 2022), expertos de todo Canadá, Estados Unidos y México destacaron la importancia de que la ciudadanía participe y se involucre en las etapas de planificación y en las actividades de monitoreo de SbN (Gráfica 7). Además, identificaron como aspecto clave para el éxito y la eficacia de un programa de monitoreo de SbN la participación de varias partes, entre otras: representantes del gobierno, líderes indígenas, la comunidad académica (universidades e institutos de investigación) y el equipo del proyecto de SbN (gerentes de proyecto y expertos técnicos).

Estudio de caso 3. Realineamiento del dique de la bahía de Fundy

Realineamiento del dique de la bahía de Fundy:

Acción colectiva y colaboración

Truro, Nueva Escocia
Canadá

En octubre de 2021, tras años de planificación, se completó un realineamiento controlado de los diques a lo largo del río Onslow-North, cerca de la ciudad de Truro, Nueva Escocia, al este de la bahía de Fundy. Con el objetivo de restaurar el hábitat de las marismas mareales, se realizó la construcción de un nuevo dique a lo largo del río Onslow-North y la destrucción de los diques de los ríos Salmon y North, previamente afectados por las mareas.

La zona que rodea Truro se ha identificado por su especial vulnerabilidad ante inundaciones relacionadas con el cambio climático, marejadas ciclónicas y riesgos de erosión, y desde hace tiempo experimenta inundaciones anuales que causan daños a las propiedades e infraestructuras cercanas, incluidas carreteras y escuelas (CBCL, 2017). Las inundaciones registradas en la zona, cuyos estragos han impulsado la necesidad de hacer frente al problema, se han producido tras fuertes tormentas, mareas altas y atascos de hielo en el río, que han traído como consecuencia el desbordamiento del dique en pie, así como impactos severos en el pueblo de Truro en 2012, tras la tormenta tropical *Leslie* (Sherren *et al.*, 2019).

En todas las fases del proyecto se contó con la colaboración de numerosas partes interesadas (TCA, 2022). Se creó el Comité Consultivo Conjunto contra Inundaciones (*Joint Flood Advisory Committee*), en el que se incluyó representación de los miembros de la comunidad, de gobiernos locales y provinciales y las Primeras Naciones. Asimismo, la creación de una red innovadora y basada en la confianza entre el gobierno, el sector académico y el privado resultó clave para el éxito de la implementación (Rahman *et al.*, 2021). La fase de monitoreo, que se llevará a cabo durante un periodo de cinco años, es responsabilidad compartida entre científicos de la empresa CB Wetlands and Environmental Specialists (CBWES) y la Universidad Saint Mary's. El programa realizará un control de la recuperación del hábitat mediante la medición de la acumulación de sedimentos, las elevaciones, la hidrología, la calidad del agua y del suelo, la captación de carbono, la cubierta vegetal y la presencia de peces y otra fauna (TCA, 2022). Además de estas labores de seguimiento, se ha puesto en marcha un programa de investigación al amparo de la nueva red de investigación canadiense ResNET, creada por el Consejo de Investigación en Ingeniería y Ciencias Naturales de Canadá (*Natural Sciences and Engineering Research Council, NSERC*) (NSERC ResNet, 2022). Entre las cuestiones objeto de exploración figuran las siguientes:

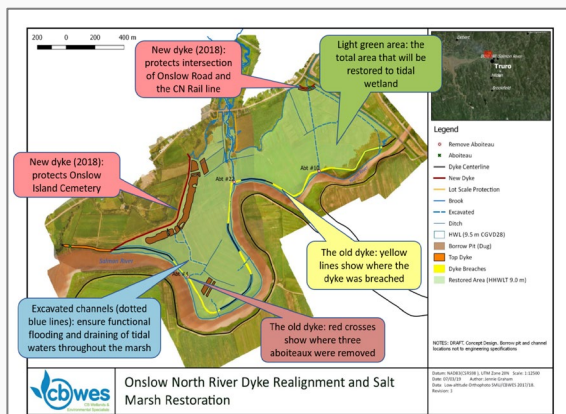
“1. ¿Qué servicios prestan los diques de la bahía de Fundy y hasta qué punto son sustentables en caso de aumento del nivel del mar?

2. ¿Qué servicios prestan las marismas mareales de la bahía de Fundy y cuál es el plazo para su prestación tras la restauración?

3. ¿De qué manera ponderan los interesados directos las distintas categorías de servicios a lo largo del tiempo y del espacio?

4. ¿Qué implicaciones tiene lo anterior para las decisiones de refuerzo, realineamiento y eliminación de diques?”

Gráfica 8. Diseño del sitio del proyecto río Onslow-North River



Fuente: TCA, 2022

Más información en Adaptaciones Transcosteras: Centro de Soluciones Basadas en la Naturaleza (TCA, 2022): <https://www.transcoastaladaptations.com/onslow-north-river>.

3.3 Financiamiento

Durante la serie de talleres de la CCA sobre SbN (DHI, 2022), se identificó que el principal desafío para monitorear este tipo de soluciones era la falta de financiamiento (tal como se abordó en el apartado 1.3). A fin de garantizar un proyecto exitoso es crucial identificar las necesidades de recursos financieros para el monitoreo, evaluación y acciones adaptativas subsecuentes y formular estrategias de financiamiento —como la evaluación de fuentes y oportunidades potenciales— desde el inicio del proyecto. También es importante considerar soluciones de monitoreo asequibles (como se abordará en el apartado 4) con el fin de reducir las cargas presupuestarias.

Las fuentes de financiamiento potenciales incluyen instituciones financieras internacionales, instituciones públicas y fuentes privadas (De Looft *et al.*, 2021; Silva Zuniga *et al.*, 2020). La gráfica 9 resume dichas fuentes para proyectos de SbN (que incluyen procesos de monitoreo). En la actualidad, muchas de las fuentes de financiamiento más comunes para proyectos de SbN provienen de iniciativas gubernamentales, como el Fondo de Soluciones Climáticas Naturales (*Natural Climate Solutions Fund*) de Canadá, o directamente a través de organizaciones sin fines de lucro e instituciones académicas.

Gráfica 9. Ejemplos de fuentes de financiamiento potenciales para monitoreo e implementación de SbN



Fuente: modificado de Silva Zuniga *et al.*, 2020, 23

El seguro para la infraestructura natural proporciona una opción adicional para garantizar fondos y, por lo general, para contribuir a acciones de manejo adaptativo. Las pólizas de seguro paramétrico ofrecen el pago de una cierta cantidad cuando ocurre un evento desencadenante (por ejemplo, cuando la erosión costera excede un límite que indica la necesidad de activación de medidas). Es un concepto novedoso que se llevó a cabo con éxito en el estado de Quintana Roo, México, en donde se reparó el Sistema Arrecifal Mesoamericano con el pago de dicho seguro (véase estudio de caso 4).

También puede estar disponible algún financiamiento adicional para el monitoreo (y la aplicación de SbN en general) a través de iniciativas basadas en el mercado. En concreto, a medida que los precios del carbono aumentan, se espera que las inversiones privadas se beneficien de los créditos de carbono que generan las SbN (Drever *et al.*, 2021). Además, las compañías de seguros tienen un interés especial en apoyar a las comunidades a fortalecer su resiliencia climática, ya que reducir el riesgo de inundaciones costeras implicaría una disminución en la indemnización del seguro. En Canadá, la Fundación Intact (respaldada por su compañía matriz, Intact Financial Corporation) lanzó el Programa de Subvenciones para la Resiliencia Climática Municipal (*Municipal Climate Resiliency*

Grant Program), dirigido a apoyar a ciudades y pueblos en la creación de soluciones prácticas y efectivas para proteger a las comunidades de inundaciones e incendios forestales (Intact, 2022). Dicho programa de subvención ayudó a poner en marcha un proyecto piloto de “costa viva” en la ciudad de Mahone Bay, Nueva Escocia, el cual se llevó a cabo en 2022. Aunque es muy pronto para presentar resultados, se espera que éste mantenga un estado completamente funcional para proteger parte del pueblo contra inundaciones y erosión a lo largo de tres años aproximadamente. Este proyecto piloto sobrevivió al impacto de grandes olas durante el huracán *Fiona* en 2022 y está en constante monitoreo por parte de la CCA. Establecer asociaciones y sinergias con otros proyectos de SbN, o entre organizaciones de financiamiento, también podría contribuir a reducir la carga financiera de programas de acción a largo plazo. En el informe *Aumento de la resiliencia de las infraestructuras con soluciones basadas en la naturaleza (SbN)* (Silva Zuniga *et al.*, 2020) del Banco Interamericano de Desarrollo (*Inter-American Development Banks*) se encuentra información adicional sobre oportunidades de financiamiento.

Estudio de caso 4. Sistema Arrecifal Mesoamericano

Sistema Arrecifal Mesoamericano:

Garantizar el financiamiento a largo plazo mediante seguros

Quintana Roo,
México

Ubicado en el mar Caribe, el Sistema Arrecifal Mesoamericano es el segundo arrecife de coral más grande del mundo, y se extiende por México, Guatemala, Belice y Honduras. La economía local del estado de Quintana Roo depende en gran medida del turismo asociado al litoral y al arrecife, por lo que muchos de los hoteles construidos sobre la costa son vulnerables a las inundaciones causadas por tormentas tropicales. Se ha demostrado que el arrecife reduce eficazmente los riesgos de inundación y erosión como consecuencia de las frecuentes tormentas tropicales que se presentan a lo largo de la costa caribeña mexicana. Se estima un beneficio anual de 42 millones de dólares estadounidenses (\$EU42,000,000) en la prevención de daños a la infraestructura construida (Reguero *et al.*, 2019).

En colaboración con la industria turística, la organización The Nature Conservancy (TNC), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), investigadores locales, miembros de la comunidad y la industria de seguros, el gobierno de Quintana Roo creó el esquema de seguros del Fideicomiso para el Manejo Integral de la Zona Costera (TNC, 2019), que consiste en un seguro paramétrico en el que los dueños de propiedades ubicadas frente a la playa y la industria turística local realizan el pago de una prima, y las indemnizaciones del seguro se producen cuando las velocidades del viento alcanzan más de 100 nudos (aprox. 185 km/h) (Beck *et al.*, 2019).

Este esquema de seguros financia un equipo altamente capacitado, conformado por miembros de la comunidad y conocido como las Brigadas de respuesta para la atención a arrecifes, para llevar a cabo la evaluación y reparación de daños a los arrecifes después de alguna tormenta (TNC, 2019). Aunque el objetivo de este plan es la reparación de arrecifes naturales tras un daño, se puede adaptar un esquema de seguro similar para los proyectos de SbN con el fin de proporcionar financiamiento para el monitoreo y el manejo adaptativo.

En octubre de 2020, el huracán *Delta* supuso un desembolso de 850,000 dólares estadounidenses (\$EU850,000) (TNC, 2021) que se usarían en labores de recuperación a lo largo de dos a tres años. Uno de los inconvenientes del plan es el tiempo que demora en hacerse efectivo el pago del seguro, lo que retrasa la evaluación y restauración de los arrecifes luego de una tormenta. Cuanto más tiempo pase entre la tormenta y el inicio de las medidas de recuperación, menos eficaz será la restauración del arrecife.

Gráfica 10. Estructura de un plan fiduciario de seguros



Fuente: Beck *et al.*, 2019

3.4 Acceso, almacenamiento y diseminación de datos

La divulgación de los resultados del programa de monitoreo y del progreso de las SbN ofrece beneficios de inmensa importancia, como aumentar el conocimiento público en torno a este tipo de soluciones y las actividades que realizan los gobiernos locales, así como promover oportunidades de negocio para las empresas privadas por lo que respecta a SbN y permitir a la comunidad científica y a los responsables de la toma de decisiones adquirir conocimientos sobre los proyectos disponibles (Dumitru y Wendling, 2021). Poner los datos, junto con sus métodos de recopilación y los análisis realizados, a disposición y fácil acceso del público mediante una base de datos centralizada con formatos estandarizados resultará de gran utilidad para los programas de monitoreo de SbN en el futuro. Asimismo, la creación de una red colaborativa de monitoreo y diseminación de datos es un paso importante hacia la incorporación de conocimientos y pruebas en relación con SbN. Otro beneficio de la diseminación de datos es el fomento de un mayor interés público y participación comunitaria, lo que podría redundar en la generación de otras fuentes de recopilación de datos a partir de la ciencia comunitaria. El estudio de caso 5 describe una iniciativa de monitoreo comunitario, CoastSnap, que ha logrado expandirse a escala mundial.

El acceso a los datos y su difusión deben tenerse en cuenta durante las fases de definición del alcance y planificación del programa de monitoreo. Esto ayuda a garantizar que se obtengan los recursos y el financiamiento adecuados, se identifiquen las herramientas idóneas para la difusión y que la intención del proyecto se comunique a las partes interesadas desde el inicio. El almacenamiento y los servidores para alojar portales de visualización de datos conllevan gastos de mantenimiento, los cuales deben contemplarse durante la fase de planificación del proyecto con miras a garantizar que los datos no se pierdan y que su acceso sea confiable.

También es necesario considerar la propiedad de los datos y el acceso a los derechos de distribución, sobre todo cuando se trata de información personal e indicadores socioeconómicos. Por ejemplo, cuando se recopilan datos en las comunidades de las Primeras Naciones de Canadá, los protocolos de recopilación, almacenamiento e intercambio de datos deben respetar los principios OCAP®,¹ los cuales garantizan que estos pueblos sean los únicos que posean y controlen el almacenamiento y uso de dichos datos (FNIGC, 2022).

Es igualmente importante comunicar tanto los resultados positivos como los negativos. Las lecciones aprendidas de lo que salió mal o de lo que podría mejorarse en el futuro son de suma importancia para que no se repitan errores o se malgasten recursos debido a la aplicación de estrategias y soluciones que hayan sido ineficaces (Dumitru y Wendling, 2021).

Existen múltiples formas de presentar y difundir datos y resultados: artículos científicos, informes, presentaciones en congresos, seminarios web, redes sociales, portales de datos y entrevistas. Independientemente del método de presentación, resulta útil crear representaciones visuales atractivas y fáciles de interpretar, como infografías y herramientas basadas en sistemas de información geográfica (SIG), que pueden facilitar la toma de decisiones y aumentar la participación sectorial. Aunque ya existen muchos portales y atlas en los que se describen estudios de caso relacionados con SbN (por ejemplo, la Serie de Atlas de Ingeniería Natural [*Engineering with Nature Atlas Series*], Bridges *et al.*, 2018; Bridges *et al.*, 2021a; el Mapa de Acciones de Adaptación [*Map of Adaptation Actions*], ECCC y NRCan, 2021), aún persiste la necesidad de contar con una base de datos transfronteriza (es decir, internacional) de todo el sector que albergue y difunda los datos de monitoreo. Las iniciativas en marcha podrían servir de punto de partida para desarrollar una base de

¹ OCAP® es una marca registrada del Centro de Gobernanza de la Información de las Primeras Naciones (*First Nations Information Governance Centre*, FNIGC). Más información en: <<https://fnigc.ca/ocap-training/>>.

datos centralizada y reconocida tanto de proyectos como de datos e información proveniente de estudios.

Estudio de caso 5. Vigilancia comunitaria de las costas con CoastSnap

Vigilancia comunitaria de las costas con CoastSnap:

Uso de la ciencia comunitaria para vigilar las costas

Canadá, Estados Unidos y
México

CoastSnap es una plataforma en la que miembros de la comunidad se encargan de la vigilancia de la línea costera, toman fotografías y las publican en redes sociales (Harley y Kinsela, 2022). La iniciativa consiste en instalar soportes de acero inoxidable para teléfonos en zonas costeras de fácil acceso y carteles sencillos y explicativos que invitan a los visitantes de la playa a utilizar el soporte para tomar una foto y compartirla a través de la aplicación CoastSnap o de cualquier plataforma de redes sociales utilizando una etiqueta específica para cada estación (Harley y Kinsela, 2022). En septiembre de 2022, Estados Unidos contaba con más de 60 estaciones y Canadá con 13. En junio de 2022 se instaló la primera estación CoastSnap en México, en la playa de San Bruno, Yucatán.

Gráfica 11. Estaciones CoastSnap



Fuente: Harley y Kinsela, 2022

CoastSnap surgió en Australia en 2017 y desde entonces se ha extendido por todo el mundo a través de varias asociaciones y alianzas de iniciativas de proyectos regionales, como el proyecto Coastie en Canadá (departamento de Parques de Canadá y Universidad de Windsor) y CoastSnap Delaware (Programa Universitario Nacional Sea Grant de Delaware) y CoastSnap Woods Hole (Institución Oceanográfica Woods Hole) en Estados Unidos.

Además de servir como base de datos centralizada de imágenes históricas, la tecnología que hay detrás de CoastSnap puede crear videos a intervalos regulares y rastrear la posición de la costa. El sistema consta de complejos algoritmos de procesamiento de imágenes que generan una alineación de las mismas en un ángulo homogéneo con el fin de determinar la posición de la costa. El método se ha probado en dos instalaciones piloto comparando la línea costera obtenida de las fotografías con mediciones locales y ha resultado ser una alternativa científicamente rigurosa y más asequible que el monitoreo tradicional. Cabe reconocer que para el éxito del proyecto es necesario contar con un alto nivel de participación pública. En general, el grado de participación de la comunidad ha sido notable (es decir, se han registrado publicaciones al menos mensuales, pero a menudo semanales, en las estaciones establecidas en Canadá y Estados Unidos).

Más información en CoastSnap (Harley *et al.*, 2019): <www.coastsnap.com/>.

4 Consideraciones técnicas para un plan de monitoreo

A la hora de desarrollar un programa de monitoreo de SbN, deberán considerarse varios aspectos técnicos, como la selección de indicadores y parámetros de medición, la definición de métodos y técnicas para la recopilación y el análisis de datos, así como el alcance del monitoreo (duración y espacio). Este apartado ofrece una visión general de estas consideraciones técnicas básicas. Se incluye un estudio de caso con el fin de ejemplificar los aspectos técnicos de la aplicación de un plan de monitoreo.

En el documento de orientación asociado *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos* se ofrece una orientación técnica más detallada sobre el desarrollo y la implementación de los planes de monitoreo.

4.1 Indicadores y criterios de medición

Los programas de monitoreo de proyectos convencionales relacionados con la gestión de riesgos por inundación se han centrado generalmente en la ingeniería del desempeño. Dado el potencial de los cobeneficios de un proyecto SbN, es crucial considerar toda una serie de indicadores para medir los impactos. En este contexto, un proyecto de SbN debe evaluarse en relación no sólo con sus funciones básicas relativas a la gestión de los riesgos por inundación, sino también con los diversos cobeneficios ecológicos y socioeconómicos. Cabe resaltar que los cobeneficios de las SbN se tratan en detalle en el documento de orientación correspondiente: *Cobeneficios*.

El desempeño puede definirse como el grado en que las SbN cumplen un objetivo específico midiendo los cambios hacia determinados objetivos o en relación con el punto de referencia (Dumitru y Wendling, 2021). Es preferible que dicha referencia se establezca con datos históricos a largo plazo (véase el apartado 2.3). Para realizar una evaluación del desempeño objetiva, los indicadores y criterios de medición deben establecerse de antemano, preferiblemente dentro de la etapa de planificación del programa de monitoreo. Los indicadores de desempeño de las SbN pueden clasificarse en varias categorías interrelacionadas y superpuestas (Morris *et al.*, 2019; Piercy *et al.*, 2021):

- Desempeño de ingeniería (por lo que respecta a la gestión de los riesgos por inundación), relacionado tanto con la “función” del proyecto (es decir, capacidades de protección contra inundaciones) como con la “forma” (es decir, si la SbN permanece intacta y funcional con el tiempo).
- Desempeño ecológico, relacionado con el éxito ecológico de la implementación y la mejora de la biodiversidad, la restauración de un hábitat y la optimización de los servicios ecosistémicos (por ejemplo, la calidad del agua, la pesca, etcétera).
- Desempeño social, relacionado con los beneficios sociales que proporciona el proyecto, como la salud humana, el bienestar, el valor recreativo y cultural, la mejora de los medios de sustento y las oportunidades laborales.
- Desempeño económico, relacionado con los beneficios monetarios derivados del proyecto, como daños evitados, aumento de los precios de las propiedades e incremento de la actividad económica a través del turismo y la pesca.

Además de la evaluación del desempeño de las SbN, el programa de monitoreo también debe abordar las incertidumbres y ayudar a reducir los riesgos relacionados. Las incertidumbres más críticas deben identificarse en una etapa temprana de la fase de diseño y definirse parámetros adecuados para poner en marcha actividades de manejo adaptativo y determinar si la iniciativa está cumpliendo los

objetivos del proyecto. El cambio climático plantea importantes incertidumbres, que pueden requerir actividades de seguimiento adicionales para cuantificar efectos e impactos.

Para la mayoría de las SbN existe un conjunto básico de indicadores de desempeño que deberían incluirse en todos los programas de monitoreo, como es el caso de los niveles extremos de agua y la cubierta vegetal. La selección de los indicadores de desempeño adicionales que se incluirán en el programa de monitoreo dependerá del proyecto y de sus objetivos, la escala, el riesgo asociado, el grado de innovación, el presupuesto con que se cuenta, políticas y factores logísticos. Dado que los presupuestos suelen ser limitados, los indicadores y los criterios de medición deben seleccionarse cuidadosamente para dar prioridad a los aspectos cruciales del proyecto y, si es posible, servir de base a múltiples tipos de criterios de desempeño, empleando los mismos datos o método de estudio (Piercy *et al.*, 2021). También es pertinente considerar la aplicación de metodologías estandarizadas (como se ejemplifica en el estudio de caso 6) e indicadores con el fin de comparar los proyectos de SbN y la posible colaboración entre diversos programas de monitoreo. Los indicadores deberán tener un carácter mensurable, ser sencillos, viables, replicables, asequibles y ajustarse a las limitaciones de los recursos disponibles, como el tiempo y el personal (Kumar *et al.*, 2021; Piercy *et al.*, 2021). En el documento *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos*, se presenta un proyecto de metodologías e indicadores estandarizados.

Los criterios de medición deben establecerse de forma que definan los objetivos o metas del proyecto. Por ejemplo, un indicador de elevación de la playa para un proyecto de gestión de riesgos por inundación puede incluir criterios que definan el espesor mínimo de la elevación para la implementación del programa de gestión, criterios de intervención y criterios de la capa base, así como dar fundamento a las decisiones de manejo adaptativo (como se muestra en la gráfica 4).

Si bien este informe se centra en el monitoreo de proyectos nuevos relacionados con SbN (aún por construirse), los conceptos y análisis de desempeño que aquí se exponen también pueden aplicarse a la evaluación de características naturales existentes que protegen contra las inundaciones. Asimismo, el monitoreo de estas características puede servir para analizar el costo-beneficio de las intervenciones propuestas y orientar las estrategias de gestión pertinentes, especialmente si están relacionadas con la preservación de áreas naturales y la prestación de servicios ecológicos por parte de empresas de activos naturales (MNAI, 2022).

Estudio de caso 6. Marco estatal de monitoreo de la costa

Marco estatal de monitoreo de la costa:

Enfoque estandarizado para el monitoreo de soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

Nueva York,
Estados Unidos

Reconociendo la necesidad de contar con un marco estandarizado para el monitoreo de SbN y protocolos para la recolección de datos, el Departamento de Estado de Nueva York desarrolló el Marco estatal de monitoreo de la costa (Science + Resilience Institute, 2020). El marco fue elaborado por una red multidisciplinaria de investigadores y profesionales mediante un proceso de colaboración orientado a facilitar la comparación de las SbN con los enfoques convencionales aplicados a la línea de costa (Wijsman *et al.*, 2021).

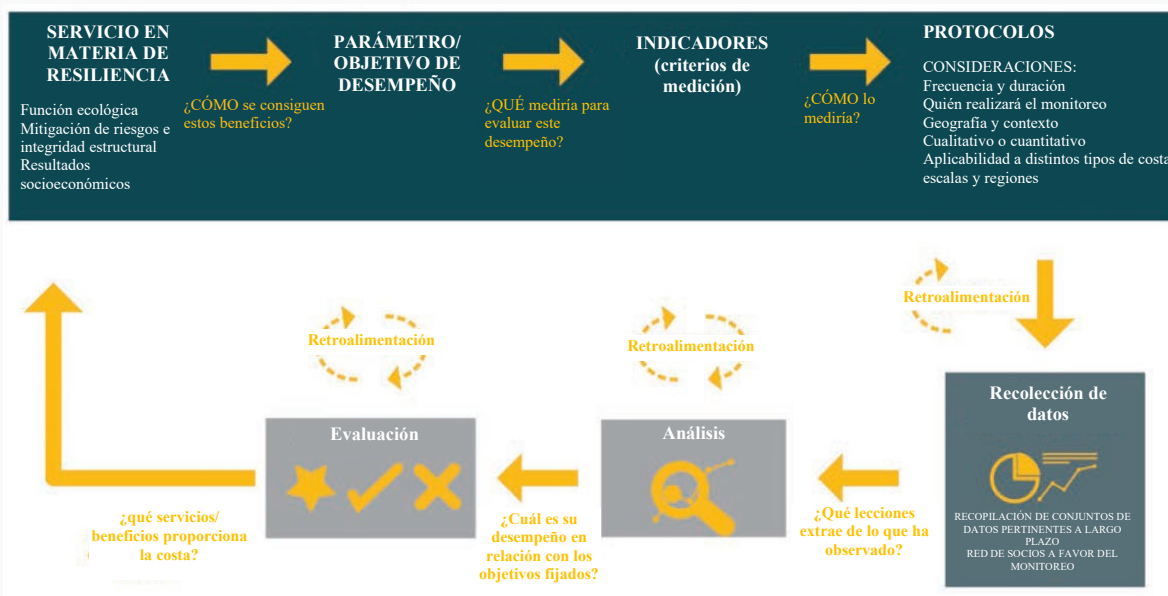
El marco se desarrolló apoyándose en una revisión bibliográfica de alto nivel, aportaciones de grupos de trabajo integrados por expertos multidisciplinarios, consultas a partes interesadas a escala regional y aportaciones de consejos reguladores y consultivos. Asimismo, el marco se adaptó para reflejar la recopilación de datos de pruebas piloto de monitoreo en 16 sitios a lo largo del estado de Nueva York durante el periodo de una temporada. Este marco engloba los siguientes elementos:

- Hoja de ruta para la elaboración de un plan de monitoreo específico para cada proyecto, tanto para SbN como para infraestructuras duras
- Lista de 19 indicadores recomendados para las costas de Nueva York y orientación sobre cómo limitar la selección a cada lugar
- Protocolos de recolección de datos (trabajo de campo) y análisis de datos para cada indicador
- Desarrollo de una base de datos centralizada para almacenar y analizar los datos
- Enseñanzas extraídas del programa piloto y sugerencias para futuras aplicaciones

Los indicadores cubrían aspectos como servicios ecológicos, de mitigación de riesgos y socioeconómicos. Para más información sobre los indicadores (y otros detalles del proyecto), consúltese la página web del Departamento de Estado de Nueva York dedicada al marco estatal de monitoreo de las costas: <<https://es.dos.ny.gov/statewide-shoreline-monitoring-framework>>.

Esta iniciativa es un paso importante hacia la creación de una base de datos cada vez más completa que permita establecer comparaciones entre las SbN y las infraestructuras convencionales. Se prevé que el marco evolucione de forma continua en función de los comentarios y las necesidades de los usuarios.

Gráfica 12. Marco para el monitoreo



Fuente: Science + Resilience Institute, 2020

4.2 Métodos y técnicas

Los indicadores de desempeño pueden requerir diferentes criterios de medición, técnicas de recopilación de datos y métodos de análisis de datos. Por ejemplo, la evaluación del éxito ecológico, la frecuencia de las inundaciones y los cobeneficios sociales puede conllevar una amplia gama de metodologías, técnicas y tipos de datos, desde inspecciones visuales hasta sensores *in situ* del nivel del agua, imágenes remotas por satélite y entrevistas con los miembros de la comunidad.

Los métodos estándar de recopilación de datos incluyen observaciones y muestreos (adquiridos tanto *in situ* como a distancia), encuestas y censos (en particular, relacionados con métricas socioeconómicas) y experimentos de laboratorio y modelos numéricos, que son herramientas útiles durante las fases de planificación y para la puesta en marcha de proyectos piloto.

Las mediciones pueden ser directas o indirectas y proporcionar parámetros de evaluación cualitativos, semicuantitativos o cuantitativos. Las mediciones directas incluyen observaciones sobre el terreno o datos obtenidos a distancia, como imágenes aéreas o por satélite (Piercy *et al.*, 2021). Algunos ejemplos de mediciones directas son la instalación de registradores de datos referentes al nivel del agua para medir este valor, el recuento directo del número de visitantes o la obtención de imágenes digitalizadas con drones para definir zonas de marismas. Puesto que las mediciones directas no siempre son factibles (a menudo debido a limitaciones financieras o de acceso), es posible utilizar mediciones indirectas como sustitutos (Piercy *et al.*, 2021). Entre los ejemplos de mediciones indirectas se incluyen el uso de marcas de niveles alcanzados por el agua de inundación en edificios para estimar los niveles de este fenómeno, o métricas socioeconómicas o ecológicas semicuantitativas basadas en índices.

En vista de que el financiamiento se reconoce como una de las mayores limitaciones para el monitoreo de SbN, generalmente surge la necesidad de diseñar un programa que ofrezca una solución rentable para la recopilación de datos, y que puede incluir el uso de conjuntos de datos existentes (actualizados), como programas de observación de la tierra y teledetección, el establecimiento de un enfoque de medición colaborativo entre múltiples proyectos y partes interesadas, y el aprovechamiento de resultados de proyectos científicos comunitarios o datos recopilados por participantes de la comunidad. También se espera que los nuevos avances tecnológicos, de investigación y de innovación contribuyan a mejorar el monitoreo de la eficacia de las SbN, reduzcan los costos y mejoren la base de conocimientos y pruebas para futuros proyectos de SbN (Somarakis *et al.*, 2019).

En cualquier caso, el valor a largo plazo del programa de monitoreo depende en gran medida de la obtención de resultados coherentes y comparables que puedan reproducirse (Altman *et al.*, 2021). Por lo tanto, al definir los métodos y técnicas de monitoreo, redundaría en beneficio involucrar a expertos en la materia en las primeras etapas del proceso de planificación y consultarlos para garantizar el cumplimiento de los estándares científicos, de forma tal que los resultados puedan justificarse y los datos permitan satisfacer los requisitos del proyecto y servir de base para futuros proyectos e investigaciones en materia de SbN. A menudo resulta conveniente aplicar metodologías e indicadores normalizados (como se describe en el apartado 4.1).

La metodología y los indicadores propuestos para las SbN se describen en el documento asociado *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos*. En el informe *Cobeneficios* se analizan los métodos para la medición y evaluación de estos beneficios. Además, en Kumar *et al.* (2021) se ofrece una revisión de las metodologías disponibles y los equipos utilizados para evaluar el desempeño de las SbN en términos de ingeniería con respecto al riesgo de inundaciones, y en Raymond *et al.* (2017) se propone un marco para evaluar los cobeneficios socioeconómicos aportados por las SbN.

4.3 Escala física y ubicaciones

El monitoreo puede efectuarse a varias escalas espaciales, desde el plano local (por ejemplo, una propiedad, una carretera o un parque) hasta escalas comunitarias, urbanas o incluso regionales. Definir un ámbito espacial apropiado para el monitoreo es fundamental para la representatividad y adecuación de los datos (Dumitru y Wendling, 2021). La escala del programa general de monitoreo debe ajustarse en función de cada proyecto, dependiendo del tamaño de la intervención, los objetivos y las incertidumbres del proyecto, la escala de impacto prevista y la disponibilidad de fondos para el monitoreo. Además, con frecuencia es apropiado considerar múltiples escalas espaciales dentro del programa de monitoreo a fin de definir de manera apropiada los diferentes indicadores de desempeño. Por ejemplo, los indicadores económicos a menudo requerirán un monitoreo a escala de toda la ciudad o regional, mientras que los indicadores de gestión de los riesgos por inundación suelen limitarse a la huella del proyecto.

Aunque la escala utilizada para las SbN suele ser relativamente pequeña, la adquisición y el análisis de datos a mayor escala también pueden contribuir a evaluar el potencial de ampliación y reproducción de determinadas intervenciones de soluciones basadas en la naturaleza.

Al desarrollar un programa de monitoreo, conviene también considerar condiciones específicas del lugar que puedan afectar la viabilidad de las labores de monitoreo, como las características físicas, limitaciones en términos de accesibilidad, restricciones meteorológicas, limitaciones de luz diurna, ventanas de mareas, ventanas de permisos y seguridad. Este aspecto reviste particular importancia en el caso de la instalación de instrumentos *in situ*. La elección de las zonas de instalación de los instrumentos debe efectuarse con sumo cuidado, atendiendo, entre otras cosas, a la seguridad de la navegación y de los nadadores, los perjuicios para la sociedad, las restricciones de acceso para el mantenimiento y las posibilidades de vandalismo o robo.

4.4 Escala temporal y frecuencia

A efectos de garantizar una evaluación adecuada de los resultados y orientar el manejo adaptativo, será importante definir la escala temporal y la periodicidad del programa de monitoreo. Cuando se diseña un programa de monitoreo y se fijan indicadores y métricas, es preciso considerar cuándo, con qué frecuencia y durante cuánto tiempo debe llevarse a cabo este proceso.

La frecuencia del monitoreo (o régimen de adquisición o captación, como se describe en Dumitru y Wendling, 2021) puede dividirse en cuatro categorías amplias:

1. Datos continuos, como los que proporcionan los instrumentos *in situ* (por ejemplo, mareógrafos, cámaras).
2. Datos en función de la demanda, como el monitoreo de las respuestas a tormentas extremas u otros eventos relevantes (como se describe en el apartado 2.3).
3. Datos puntuales, es decir, datos que se generan una sola vez en esta configuración (por ejemplo, datos de monitoreo de la construcción, que representan una instantánea en el tiempo que no puede repetirse).
4. Recogida periódica de datos, como los perfiles estacionales de las playas.

En condiciones ideales, la elección de un régimen de adquisición concreto debería determinarse conforme a la dinámica temporal prevista de un determinado proceso o indicador de desempeño. El monitoreo también debería tener una frecuencia suficiente para dar fundamento al manejo adaptativo (como se muestra en la Gráfica 4). En la práctica, sin embargo, el intervalo de monitoreo depende de varios factores, como las limitaciones tecnológicas, el calendario del proyecto y la disponibilidad de fondos y recursos (Dumitru y Wendling, 2021).

Además de la frecuencia, duración y escala temporal del monitoreo, el análisis de datos y la evaluación del desempeño deben definirse para cada indicador de desempeño seleccionado, considerando los resultados esperados y los improbables, así como la escala natural y la variabilidad de cada indicador. Conviene tener en cuenta que algunas SbN pueden demorar años en completarse y alcanzar el pleno rendimiento en cuanto a gestión de riesgos por inundación y obtención de cobeneficios (por ejemplo, humedales extensamente restaurados o de nueva creación). Por lo tanto, a veces será preciso esperar a que el sistema haya madurado para evaluar en su totalidad los indicadores de desempeño y evitar resultados tempranos que indiquen “falta de desempeño” y acciones adaptativas innecesarias (De Looff *et al.*, 2021). En cualquier caso, el monitoreo a corto plazo puede ayudar a confirmar si la teoría del cambio para el proyecto era correcta y activar acciones de manejo adaptativo. De este modo, por ejemplo, la pérdida de vegetación juvenil durante una tormenta inesperada o debido al intenso forrajeo de animales herbívoros puede hacer necesaria la replantación (véase el estudio de caso 1).

El establecimiento de un calendario adecuado para el programa de monitoreo es crucial no sólo para evitar vacíos y omisiones en los datos, sino también la falta de idoneidad de los mismos y la falta de información esencial para evaluar el desempeño de las SbN y establecer un punto de referencia. Los calendarios de monitoreo deben, por tanto, evaluarse al principio de la fase de planificación y diseño del proyecto y someterse a revisión como parte del manejo adaptativo.

En el informe *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos* se ofrece información pormenorizada sobre escala temporal y frecuencia del monitoreo.

4.5 Análisis de datos

Los datos brutos que se obtengan durante el programa de monitoreo deben procesarse e interpretarse de acuerdo con los indicadores y criterios de medición seleccionados, a fin de proporcionar información significativa para medir el desempeño de las SbN y apoyar el manejo adaptativo.

Existen varios tipos de análisis y manipulación de datos, desde estadísticas básicas y agregación espacial y temporal hasta técnicas más sofisticadas que permiten compilar un conjunto de métricas y mediciones diferentes para estimar indicadores complejos. También es crucial establecer procedimientos de garantía y control de la calidad en una fase temprana del proceso de elaboración del plan de monitoreo y, en la medida de lo posible, utilizar técnicas y metodologías estandarizadas. Estos procedimientos incluyen el almacenamiento de toda la información y los metadatos pertinentes, la documentación de todas las formas de manipulación de los datos y la garantía de que los datos representan con exactitud las condiciones observadas. La transparencia y la reproducibilidad tienen una importancia central para que el equipo del proyecto tenga confianza en los resultados y pueda poner en práctica el manejo adaptativo, así como para que otras partes interesadas (incluidos los organismos reguladores y el público en general) amplíen el uso y el valor de los datos recopilados más allá del proyecto específico. En concreto, los metadatos exhaustivos desempeñan un papel importante en la recopilación de detalles relevantes (por ejemplo, ubicación, instrumentación, mantenimiento, métodos de procesamiento, etc.) que pueden afectar la fiabilidad de los datos y su uso futuro.

Las consideraciones relativas a las escalas espaciales y temporales (descritas en los apartados 4.3 y 4.4) también se aplican al análisis de los datos. Resulta oportuno comprobar la calidad de los datos para garantizar que los resultados no se vean afectados por la variabilidad temporal a corto o largo plazo ni por patrones espaciales de carácter natural.

Con miras a promover las soluciones basadas en la naturaleza y fomentar la colaboración y la ampliación de los conocimientos, es fundamental garantizar el acceso a los datos y su difusión. Como ya se ha señalado en el apartado 3.4, ofrecer resultados de fácil interpretación y centrarse en los

mensajes clave a la hora de publicitar la información redunda en beneficios. Se recomienda utilizar herramientas de análisis de datos populares (es decir, ampliamente disponibles) y metodologías estandarizadas que faciliten la reproducción, el intercambio de conocimientos y la continuidad de los procedimientos analíticos.

5 Eficacia del monitoreo

Los procesos de monitoreo pueden aportar beneficios significativos a los proyectos de gestión de los riesgos que pueden traer consigo las inundaciones y constituyen un componente esencial de los proyectos de SbN. A pesar de los beneficios potenciales que aporta el monitoreo, existe la necesidad práctica de vincular el alcance y la escala de las iniciativas de monitoreo a las necesidades generales del proyecto, a los riesgos del mismo y a las limitaciones financieras, lo que puede repercutir en la eficacia general de las iniciativas de monitoreo (como se expone en el apartado 3). Además, las condiciones variables del medio ambiente y de los emplazamientos, al igual que las condiciones climáticas cambiantes, pueden influir en la calidad y fiabilidad de los resultados del monitoreo. En el presente documento se describen de forma sucinta las posibles repercusiones de estos factores en los resultados del monitoreo. Por otra parte, se analiza la eficacia del monitoreo de las SbN en comparación con el monitoreo de las infraestructuras duras convencionales.

5.1 Impacto de la configuración del emplazamiento

La eficacia del monitoreo depende de la adaptación del programa de monitoreo a cada lugar y al tipo específico de SbN. La variedad en la configuración de los emplazamientos en América del Norte puede limitar la calidad, cantidad o tipo de datos de monitoreo que pueden recopilarse y afectar a la eficiencia de la iniciativa de monitoreo en caso de que los métodos no se elijan de forma adecuada. Entre las posibles características de los sitios que pueden influir en la eficacia del monitoreo se cuentan las siguientes:

- Ventanas de marea limitadas
- Horas de luz limitadas
- Exceso de vegetación o de cobertura vegetal
- Cobertura de hielo
- Acumulación de basura y sedimentos
- Tormentas intensas
- Vandalismo de los equipos por parte de personas y animales
- Proximidad limitada al equipo y al personal
- Accesibilidad limitada para el mantenimiento

En consecuencia, al determinar los indicadores de desempeño (véase el apartado 4.1) y los métodos de monitoreo (véase el apartado 4.2), así como al planificar las estrategias de manejo adaptativo (véase el apartado 2.4), es fundamental tener en cuenta la configuración del sitio.

5.2 Impacto de las condiciones climatológicas cambiantes

En la concepción del programa de monitoreo, al igual que al momento de diseñar las propias SbN, deben tenerse en cuenta los efectos del cambio climático, puesto que este fenómeno puede afectar la eficacia del monitoreo a través de dos mecanismos principales:

1. Impactos en el funcionamiento: cuando las condiciones climáticas cambiantes y la fluctuación de las condiciones del sitio repercuten en el funcionamiento de los equipos y técnicas de monitoreo.
2. Impactos en las condiciones de referencia: cuando el cambio climático (y no las SbN) modifica las condiciones de referencia en relación con determinados indicadores de desempeño.

Con objeto de evitar cambios en el funcionamiento del monitoreo, el plan de monitoreo puede prever el aumento del nivel del mar y otros efectos del cambio climático (como el aumento de las precipitaciones, la acidificación de los océanos, entre otros). Sin embargo, dadas las incertidumbres que rodean a las proyecciones del cambio climático y los consiguientes efectos en los ecosistemas, se aconseja planificar medidas de adaptación para el plan de monitoreo, más que dar cuenta de todos los cambios potenciales directamente en el diseño.

El cambio de las condiciones de referencia derivado de los efectos del cambio climático puede influir en la evaluación del impacto y en los parámetros de evaluación del desempeño desarrollados para el programa de monitoreo de las SbN. Los enfoques de evaluación convencionales que comparan los resultados del monitoreo con condiciones de partida estáticas podrían ser inadecuados; por ende, es preferible contemplar valores de referencia dinámicos (NCCARF, 2018). El informe complementario *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos* propone una serie de prácticas recomendadas para que en este proceso se identifiquen y tengan en cuenta las condiciones de referencia cambiantes que propicia el cambio climático.

Además de alterar los valores de referencia, el cambio climático puede influir en las definiciones de desempeño y éxito de un sistema determinado. Por ello, la percepción de éxito o fracaso del proyecto (definida a través de los parámetros de desempeño) puede tener que ajustarse en función del contexto que plantee el fenómeno climático. También puede ser necesario ajustar los umbrales de intervención y los requisitos de mantenimiento (como se muestra en la Gráfica 4).

En este contexto, se recomienda un enfoque de manejo adaptativo a largo plazo para el monitoreo. Este plan a largo plazo debería centrarse en el establecimiento de hitos y en la identificación de puntos clave en los que sea necesario revisar y modificar el plan de monitoreo. Las condiciones meteorológicas cambiantes pueden incentivar un seguimiento adicional.

El proceso de monitoreo también desempeña un papel importante en el desarrollo de una mejor comprensión de los impactos del cambio climático. Las iniciativas de monitoreo deben tratar de identificar, evaluar y gestionar permanentemente las consecuencias de las condiciones climáticas actuales y futuras.

5.3 Comparación con infraestructuras convencionales

Las iniciativas de monitoreo destinadas a evaluar la eficacia de las SbN frente a las infraestructuras duras convencionales (por ejemplo, malecones, rompeolas y diques) difieren significativamente en función de la metodología y del tipo de indicadores y criterios de medición utilizados. Los expertos de la serie de talleres organizados por la CCA (DHI, 2022) indicaron que las labores de monitoreo eran significativas para todos los proyectos de gestión de los riesgos por inundación; sin embargo, también determinaron que éstas revestían mayor importancia en el caso de las SbN que en el de las soluciones de infraestructuras convencionales.

El monitoreo de las infraestructuras duras convencionales tiende a centrarse sobre todo en los indicadores de desempeño de la gestión de los riesgos derivados de inundaciones y, en menor medida, en los indicadores medioambientales. Asimismo, el monitoreo de la infraestructura convencional suele centrarse en el monitoreo previo a la construcción, durante la construcción y a corto plazo después de la construcción para tomar decisiones informadas con respecto al pago del proyecto y asegurar la conformidad con el diseño. En el caso de infraestructuras de mayor riesgo, como diques elevados o diques que protegen comunidades urbanas de alta densidad, también suelen programarse procesos de monitoreo periódico a largo plazo dirigidos a evaluar el desempeño de la gestión de los riesgos por inundación.

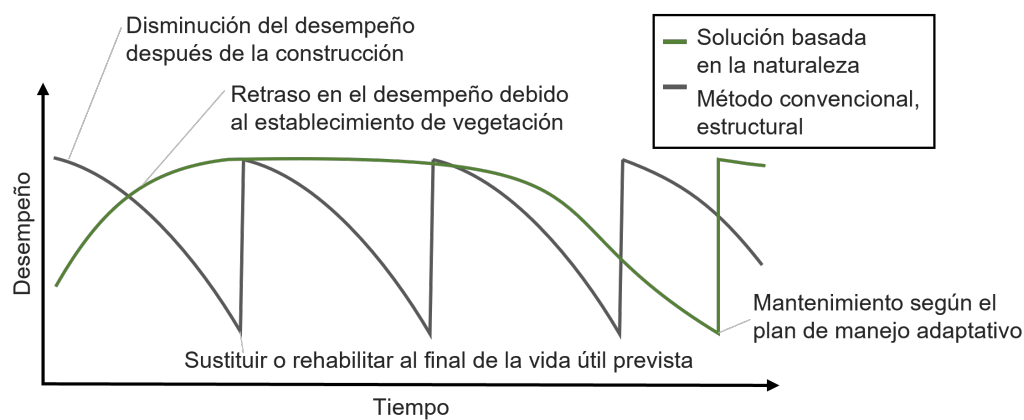
Por el contrario, el monitoreo a largo plazo y el manejo adaptativo constituyen medidas fundamentales para las SbN. Además del desempeño de la gestión de riesgos por inundación, el

monitoreo debe centrarse en los cobeneficios. La identificación de todos los cobeneficios potenciales y la selección de parámetros adecuados para la evaluación en las primeras fases del proyecto forman parte esencial de una evaluación más adecuada del valor de las SbN. En el documento de orientación asociado *Cobeneficios* se ofrece un análisis de los beneficios conjuntos que aportan las SbN.

Por otra parte, al evaluar las opciones existentes en materia de gestión de los riesgos que pueden traer consigo las inundaciones, existe a menudo una tendencia a centrarse principalmente en una comparación directa de costos y beneficios basada en exclusiva en los resultados de dicha gestión (Van Zanten *et al.*, 2021). En cambio, al comparar las SbN con la infraestructura dura convencional, es preciso contar con una comprensión más amplia de los cobeneficios y los impactos no deseados que conllevan las posibles soluciones. Debido a la falta general de datos de monitoreo de las infraestructuras convencionales —en particular en lo que concierne a los cobeneficios— es difícil comparar de modo adecuado la función global de las SbN con la de las infraestructuras convencionales. A la luz de la creciente influencia que ejerce el cambio climático en los programas urbanos de gestión de los riesgos por inundación, se recomienda que los responsables de la toma de decisiones concedan la misma importancia al financiamiento y la recopilación de datos de monitoreo estandarizados para las infraestructuras convencionales y las infraestructuras de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión de los riesgos por inundación, incluidos sus cobeneficios. Este enfoque permitirá realizar un mejor análisis comparativo del desempeño y los impactos asociados a las infraestructuras, contribuyendo así a reforzar la capacidad de manejo adaptativo y a mejorar el entendimiento futuro de su respectiva eficacia y aplicabilidad.

También es importante destacar que los beneficios y el valor de las SbN cambian con el tiempo, a menudo mejorando a medida que el proyecto madura (Bridges *et al.*, 2021b). Como se indica en el apartado 4.4, el alcance, la planificación, el diseño y la implementación del proyecto deben tener en cuenta la variabilidad natural de la solución. En este proceso, el análisis del costo del ciclo de vida resulta fundamental. Este tipo de análisis define los costos tanto de capital como los de mantenimiento (es decir, los costos del ciclo vital) proyectados a lo largo de la vida útil del sistema completo de gestión de riesgos por inundación (Piercy *et al.*, 2021). La Gráfica 13 ofrece un modelo conceptual que ilustra cómo el desempeño de la infraestructura convencional y de las SbN puede cambiar con el tiempo, dando lugar a costos de ciclo de vida sustancialmente diferentes para cada tipo de solución. El desempeño de la infraestructura convencional dura disminuye después de la construcción, lo que requiere la sustitución o rehabilitación de la infraestructura al final de su vida útil de diseño. En cambio, el desempeño de las SbN puede verse retrasado al principio y aumentar con el tiempo, de modo que las necesidades de mantenimiento dependerán de los planes de monitoreo y de manejo adaptativo. La consideración de estos costos a lo largo de toda la vida útil permite una mejor comparación entre las soluciones basadas en la naturaleza y las infraestructuras convencionales.

Gráfica 13. Modelo conceptual de desempeño variable a lo largo de la vida útil de dos alternativas para la gestión de riesgos por inundación



Fuente: adaptado de Piercy *et al.*, 2021, 194

6 Oportunidades y direcciones futuras

El monitoreo es un componente clave para la instrumentación eficaz de las SbN, toda vez que sirve de apoyo a la evaluación del desempeño, orienta el manejo adaptativo, respalda futuros proyectos y brinda confianza a las entidades que proponen y financian proyectos de SbN (Vouk *et al.*, 2021). No obstante, existen varios retos conocidos y lagunas en los conocimientos relacionados con el monitoreo que impiden la implementación y adopción de las SbN. En el apartado 1.3 se describen las principales lagunas de datos y obstáculos presentes en los procesos de monitoreo, que incluyen barreras sociales, técnicas, medioambientales e institucionales. En el recuadro 4 se ofrece una lista de alto nivel de oportunidades e iniciativas futuras que los responsables de la toma de decisiones pueden poner en práctica con vistas a paliar las carencias de datos y los obstáculos conocidos.

Gran parte de los obstáculos de índole social (o de actitud) pueden sortearse, o al menos reducirse, con la mejora de la comunicación, la cooperación y el intercambio de conocimientos. Por ejemplo, el desarrollo de talleres y seminarios en torno al monitoreo SbN, así como de sesiones de formación sobre técnicas y equipos de monitoreo de uso frecuente, ayudaría a aminorar los obstáculos sociales y técnicos.

El intercambio de conocimientos de proyectos realizados con anterioridad también reviste gran importancia para agilizar los avances relativos a la comprensión técnica de las SbN y su adopción general. Independientemente de su éxito, resulta primordial documentar y difundir con amplitud la información sobre los proyectos. El desarrollo de una base de datos centralizada y reconocida (en todo el sector) de proyectos y sus respectivos datos de monitoreo conforma un primer paso hacia la mejora del acceso a los datos y la construcción de conocimiento. Del mismo modo, se necesita investigación y orientación para determinar qué metodologías e indicadores de desempeño son apropiados para los distintos tipos de SbN en las diferentes regiones (Vouk *et al.*, 2021). El informe asociado *Monitoreo de la eficacia: metodología e indicadores propuestos*, que propone metodologías e indicadores de monitoreo estándar para las SbN, apunta en esta dirección. Fomentar la preparación formal de ingenieros, científicos y responsables de la toma de decisiones en materia de monitoreo y manejo adaptativo dentro de las instituciones académicas, así como salvar las distancias entre disciplinas, también ayudaría a colmar las lagunas de conocimientos técnicos y a reducir las reticencias a la aplicación de las soluciones basadas en la naturaleza.

Gracias al aumento del conocimiento y a la ampliación de la investigación, los nuevos datos relacionados con el desempeño de las SbN (como el desempeño relativo de las diferentes especies vegetales en la atenuación de las olas) pueden ayudar a identificar criterios de medición e indicadores más apropiados para el monitoreo.

La variabilidad estacional y a largo plazo de los sistemas medioambientales naturales también supone un obstáculo importante para el monitoreo de las SbN. En este sentido, fomentar y destacar estudios de caso con resultados a largo plazo (a fin de evitar centrarse en valores potencialmente engañosos, indicativos de la variabilidad a corto plazo) puede contribuir a reducir esta barrera. Además, las técnicas de monitoreo a distancia ofrecen métodos eficaces en términos de costos y tiempos de observación de la variabilidad estacional y a largo plazo de los sistemas.

Las tecnologías emergentes, como los avances en teledetección, los sistemas de observación de la Tierra, el aprendizaje automático y los macrodatos, junto con los instrumentos de bajo costo para el monitoreo en comunidades, pueden ser útiles para ampliar las oportunidades de monitoreo. Asimismo, la adquisición de capacidades adicionales en relación con las nuevas tecnologías puede redundar en beneficio.

Cabe destacar que, de acuerdo con expertos consultados en el marco de la serie de talleres de la CCA sobre SbN (DHI, 2022), la falta de financiamiento para el monitoreo a largo plazo y el manejo adaptativo se subrayó en reiteradas ocasiones como la principal barrera para la implementación de las

SbN. La instauración de flujos de financiamiento estratégicos a escala regional puede contribuir a aliviar los obstáculos relacionados con el financiamiento que dificultan el monitoreo, además de mejorar el aprendizaje y promover la utilización de SbN. Otra alternativa es que los responsables de la toma de decisiones supediten la concesión de permisos, aprobaciones o fondos al desarrollo y aplicación de un programa de monitoreo (Vouk *et al.*, 2021). Otras oportunidades institucionales descritas en el recuadro 4 se refieren a la adecuación de los requisitos de los proyectos para que incluyan la elaboración de planes de monitoreo y la difusión de datos, así como a la simplificación del proceso de concesión de permisos para las SbN por medio del establecimiento de vías simplificadas.

Recuadro 4. Oportunidades y orientaciones futuras relacionadas con el monitoreo de las SbN, y tipo de barrera que abordan las oportunidades

	Tipo de barrera abordada			
	Social	Técnica	Ambient.	Institut.
1. Organizar o financiar sesiones, talleres y seminarios sobre el monitoreo de SbN, destacando en particular el uso de datos cualitativos o participativos.	☒	☒	☐	☒
2. Elaborar programas de formación breves (con materiales de fácil acceso) relativos a las técnicas de monitoreo estándar, con el fin de reforzar capacidades en las comunidades.	☒	☒	☐	☐
3. Crear una base de datos centralizada (en todo el sector) para alojar y difundir los datos de monitoreo.	☒	☒	☐	☐
4. Trabajar para hacer públicos los datos de monitoreo actuales e históricos.	☒	☒	☐	☐
5. Elaborar o identificar normas y directrices técnicas específicas respecto al monitoreo de SbN.	☐	☒	☐	☒
6. Incluir (y abogar por dicha inclusión) formación sobre monitoreo y manejo adaptativo dentro de los programas y títulos académicos.	☐	☒	☐	☐
7. Desarrollar una comunidad de práctica con expertos en múltiples disciplinas, a través de múltiples regiones.	☐	☒	☐	☐
8. Impulsar la mejora y llamar la atención sobre estudios de caso con resultados negativos.	☐	☒	☐	☐
9. Fomentar y dar a conocer estudios de caso con resultados de monitoreo a largo plazo.	☐	☒	☒	☐
10. Fomentar capacidades en torno a tecnologías emergentes, como el monitoreo a distancia (para reducir la evaluación física y las limitaciones logísticas).	☐	☒	☒	☐
11. Hacer hincapié en las prácticas de manejo adaptativo para el monitoreo a largo plazo (dentro de directrices, aplicaciones, requisitos de financiamiento, etc.).	☐	☐	☒	☒
12. Solicitar que se tenga en cuenta el monitoreo y el manejo adaptativo en las primeras fases del proyecto (es decir, en las convocatorias para la presentación de propuestas).	☐	☐	☐	☒
13. Exigir a los equipos de proyecto que se comprometan a distribuir los datos (independientemente de los resultados) en las primeras fases del proyecto.	☐	☐	☐	☒
14. Simplificar los procesos de concesión de permisos (es decir, agilizarlos) para la construcción, monitoreo y manejo adaptativo de SbN.	☐	☐	☐	☒
15. Desarrollar flujos de financiamiento a escala regional para el monitoreo (a largo plazo), el análisis de datos, la difusión de datos y el manejo adaptativo.	☐	☐	☐	☒
16. Establecer flujos de financiamiento para proyectos piloto de SbN y proyectos con un alto grado de manejo adaptativo.	☐	☐	☐	☒
17. Condicionar la concesión de permisos y la aprobación de todos los proyectos de gestión de riesgos por inundación a que los proponentes elaboren y apliquen un programa de monitoreo.	☒	☐	☐	☒
18. Crear oportunidades de financiamiento específicas que dependan de la elaboración y aplicación de un programa de monitoreo por parte de los proponentes.	☒	☐	☐	☒

7 Conclusiones

Este documento ofrece una síntesis del proceso de monitoreo realizado para evaluar la eficacia de los proyectos que incorporan SbN en el contexto de la gestión de los riesgos asociados a las inundaciones en Canadá, Estados Unidos y México. Su atención se centra en las diversas consideraciones administrativas y técnicas necesarias para elaborar un plan de monitoreo, así como en las posibles oportunidades para subsanar las lagunas de información y los obstáculos que dificultan este proceso.

El monitoreo es un componente esencial de la implementación efectiva de las SbN, pues permite evaluar el desempeño de los proyectos, los cobeneficios y los impactos no deseados. También desempeña un papel crucial en la formulación de estrategias de manejo adaptativo, proporciona una base para futuras investigaciones y fomenta la adopción de este tipo de soluciones. La relevancia de los cobeneficios en este caso exige que el desempeño de las SbN se evalúe desde una perspectiva amplia, a cargo de un equipo de proyecto interdisciplinar.

Un proceso de monitoreo debe comenzar en las primeras fases de un proyecto y continuar mucho después de su construcción. Si bien se recomienda el uso de metodologías e indicadores normalizados y de bases de conocimientos y directrices centralizadas, la formulación de un plan de seguimiento debe adaptarse a cada proyecto teniendo en cuenta la escala de la solución, el entorno físico, social y medioambiental, el financiamiento disponible y el grado de innovación o novedad de la solución.

Una de las principales conclusiones que se extraen de este informe es que la colaboración y la comunicación son esenciales para impulsar el trabajo de monitoreo de las soluciones basadas en la naturaleza. Ampliar el acceso a los datos y su difusión constituye un factor crucial en la construcción de una base sólida para futuras SbN y su promoción entre el público en general. Por otra parte, la colaboración tanto dentro de un proyecto como entre diversas iniciativas de monitoreo desempeña un papel clave a la hora de reducir los costos asociados a la recopilación de datos y proporcionar información más significativa a los proyectos de investigación y desarrollo de las soluciones basadas en la naturaleza.

Por último, existen numerosas oportunidades para impulsar SbN mediante acciones encaminadas a eliminar los obstáculos y las lagunas de datos relacionados con el monitoreo. La ampliación de las oportunidades de financiamiento — como la creación de fuentes de financiamiento adicionales para proyectos de monitoreo a largo plazo, análisis de datos, difusión de datos y manejo adaptativo — se torna esencial a efectos de eliminar las barreras que impiden la implementación de las soluciones basadas en la naturaleza.

Bibliografía

- Altman, S., *et al.* (2021), Capítulo 13: Plant systems: submerged aquatic vegetation and kelp, en: *International guidelines on natural and nature-based features for flood-risk management*. T. S. Bridges *et al.* (eds), Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*) del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi; disponible (en inglés) en: <<https://hdl.handle.net/11681/41946>>.
- ASCE (2007), *The New Orleans hurricane protection system: what went wrong and why. A report by the American Society of Civil Engineers Hurricane Katrina External Review Panel*, Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (*American Society of Civil Engineers*), Reston, Virginia, Estados Unidos; disponible (en inglés) en: <<https://biotech.law.lsu.edu/katrina/reports/ERPreport.pdf>>.
- Beck, M., O. Quast y K. Pflieger (2019), *Ecosystem-based adaptation and insurance: success, challenges and opportunities*, Asociación Mundial InsuResilience (*InsuResilience Global Partnership*), Bonn, Alemania; disponible (en inglés) en: <www.insuresilience.org/wp-content/uploads/2019/11/Ecosystem-based-Adaptation-and-Insurance.pdf>.
- Bridges, T. S. *et al.* (2018), *Engineering with Nature: An Atlas*, ERDC/EL SR-18-8, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*) del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi; disponible (en inglés) en: <<http://dx.doi.org/10.21079/11681/27929>>.
- Bridges, T. S. *et al.* (2021a), *Engineering with nature: an atlas, volume 2*, ERDC SR-21-2, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*) del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi; disponible (en inglés) en: <<https://hdl.handle.net/11681/40124>>.
- Bridges, T. S. *et al.* (2021b), *International guidelines on natural and nature-based features for flood-risk management*, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*) del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi, Estados Unidos; disponible (en inglés) en: <<https://hdl.handle.net/11681/41946>>.
- Bush, E. y D. Lemmen (2019), *Canada's changing climate report*, Gobierno de Canadá, Ottawa, Ontario; disponible (en inglés) en: <https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2020/06/CCCR_FULLREPORT-EN-FINAL.pdf>.
- CBCL Ltd. (2017), *Truro flood risk study, town of Truro*; disponible (en inglés) en: <www.truro.ca/adm/708-truro-flood-risk-study/file.html>.
- Connop, S. P. *et al.* (2016), “Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure”, *Environ. Sci. Policy*, vol. 62, pp. 1-13; disponible (en inglés) en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.013>>.
- De Looft, H., T. Welp, N. Snider y R. Wilmsink (2021), Capítulo 7: Adaptive management, en: *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*, editado por T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder y R. K. Mohan, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*) del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi; disponible (en inglés) en: <<https://hdl.handle.net/11681/41946>>.
- DHI Water and Environment Inc. (2022), *Nature-based solutions to address flooding in coastal cities: summary workshop [Soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a inundaciones en ciudades costeras: taller de síntesis]*, preparado para la Comisión para la Cooperación Ambiental.

- Doswald, N. *et al.* (2021), *Words into action guideline series: Nature-based solutions for disaster risk reduction*, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction*), Ginebra, Suiza; disponible (en inglés) en: <www.preventionweb.net/files/74082_naturebasedsolutionsfordrr20210624c.pdf>.
- Drever, C. R. *et al.* (2021), “Natural climate solutions for Canada”, *Science Advances*, vol. 7(23); disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1126/sciadv.abd6034>>.
- Dumitru, A. y L. Wendling (eds.) (2021), *Evaluating the impact of Nature-based solutions: A handbook for practitioners*, Comisión Europea, Dirección General de Investigación e Innovación (*Directorate-General for Research and Innovation*), Bruselas, Bélgica; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.2777/244577>>.
- ECCC y NRCan (2021), Map of adaptation actions, ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (*Environment and Climate Change Canada*, ECCC) y ministerio de Recursos Naturales de Canadá (*Natural Resources Canada*, NRCan), en: <<https://changingclimate.ca/map/>> (consulta realizada el 15 de noviembre de 2022).
- EPA (2017), *Multi-model framework for quantitative sectoral impacts analysis: a technical report for the fourth National climate assessment*, Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA), 430-R-17-001, Washington; disponible (en inglés) en: <www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/ciraii_technicalreportfornea4_final_with_updates_11062018.pdf>.
- FNIGC (2022), The First Nations principles of OCAP®, Centro para la Gobernanza de las Primeras Naciones (*The First Nations Information Governance Centre*), en: <<https://fnigc.ca/ocap-training/>> (consulta realizada el 14 de noviembre de 2022).
- Gertler, P. J., S. Martinez, P. Premand, L. B. Rawlings y C. M. Vermeersch (2016), *Impact evaluation in practice*, 2a edición, Banco Mundial, Washington; disponible (en inglés) en: <<http://hdl.handle.net/10986/25030>>.
- Google Earth Pro (2015) (para las Américas) (consulta realizada el 15 de septiembre de 2022).
- Harley, M. D. y M. A. Kinsela (2022), “CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines”, *Continental Shelf Research*, vol. 245, 104796; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104796>>.
- Harley, M. D., M. A. Kinsela, E. Sánchez-García y K. Vos (2019), “Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images”, *Coastal Engineering*, vol. 150, pp. 175-189; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.003>>.
- Intact (2022), Building More Resilient Communities, en: The Community – Climate Resilience, Intact Financial Corporation <www.intactfc.com/English/in-the-community/climate-resilience/default.aspx> (consulta realizada el 29 de septiembre de 2022).
- Kumar, P. *et al.* (2021), “An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards”, *Earth-Science Reviews*, vol. 217, 103603; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103603>>.
- MNAI (2022), *Developing Levels of Service for Natural Assets: A Guidebook for Local Governments*, Iniciativa Municipal de Activos Naturales (*Municipal Natural Assets Initiative*); disponible (en inglés) en: <<https://mnai.ca/media/2022/01/MNAI-Levels-of-Service-Neptis.pdf>>.
- Moffatt & Nichol y San Elijo Lagoon Conservancy (2016), *Cardiff Beach living shoreline project final feasibility study*; disponible (en inglés) en: <<http://trnerr.org/wp-content/uploads/2017/06/Final-Feasibility-Study-with-attachments.pdf>>.

- Morris, R. L. *et al.* (2019), “Design options, implementation issues and evaluating success of ecologically engineered shorelines”, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 57, pp. 169-228; disponible (en inglés) en: <www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9780429026379-4/>.
- NOAA-NCCOS (2022), Swan Island restoration engineering with nature (EWN) principles in practice – Storymap, Centros Nacionales de Ciencias Costeras y Oceánicas (*National Centers for Coastal Ocean Science*, NCCOS) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA); disponible (en inglés) en: <<https://storymaps.arcgis.com/stories/7156cfc6353048ad92ef80f737b77c29>> (consulta realizada el 20 de septiembre de 2022).
- NSERC ResNET (2022), *Bay of Fundy dykeland futures*, Consejo de Investigación de Ciencias Naturales e Ingeniería ResNet (*Natural Sciences and Engineering Research Council ResNet*); disponible (en inglés) en: <www.nsercresnet.ca/landscape-1---bay-of-fundy.html> (consulta realizada el 21 de septiembre de 2022).
- Piercy, C. D., J. D. Simm, T. S. Bridges, M. Hettiarachchi y Q. Lodder (2021), Capítulo 5: NNBF performance, en: *International guidelines on natural and nature-based features for flood risk management*, editado por T. S. Bridges *et al.*, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*) del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi; disponible (en inglés) en: <<https://hdl.handle.net/11681/41946>>.
- Rahman, T., T. Bowron, B. Pett, K. Sherren, A. Wilson y D. van Proosdij (2021), “Navigating nature-based coastal adaptation through barriers: A synthesis of practitioners’ narrative from Nova Scotia”, *Society and Natural Resources*, vol. 34(9), pp. 1268-1285, Canadá; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1080/08941920.2021.1940405>>.
- Raymond, C. M. *et al.* (2017), “A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas”, *Environmental Science and Policy*, vol. 77, pp. 15-24; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>>.
- Reguero, B. G. *et al.* (2019), “The risk reduction benefits of the Mesoamerican reef in Mexico”, *Frontiers in Earth Science*, núm. 7, p. 12; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.3389/feart.2019.00125>>.
- Science + Resilience Institute Jamaica Bay (2020), *Measuring Success Monitoring Natural and Nature-Based Shoreline Features in New York State*, Informe final, Departamento de Estado de Nueva York, Nueva York; disponible (en inglés) en: <https://dos.ny.gov/system/files/documents/2021/06/measuringsuccess_finalreport_minusappendices_050721.pdf>.
- Sherren, K., T. Bowron, J. M. Graham, H. M. T. Rahman y D. van Proosdij (2019), Coastal infrastructure realignment and salt marsh restoration in Nova Scotia, Canada, Capítulo 5, en: *Responding to Rising Seas: OECD Country Approaches to Tackling Coastal Risks*, pp. 111-135, OECD Publishing, París, Francia; disponible (en inglés) en: <www.oecd-ilibrary.org/environment/responding-to-rising-seas_9789264312487-en>.
- Sherren, K. *et al.* (2021), “Understanding multifunctional Bay of Fundy dykelands and tidal wetlands using ecosystem services-a baseline”, *Facets*, vol. 6, pp. 1446-1473; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.1139/FACETS-2020-0073>>.
- Silva Zuniga, M. C., G. Watson, G. G. Watkins, A. Rycerz y J. Firth (2020), *Increasing infrastructure resilience with Nature-based Solutions (NbS): A 12-step technical guidance document for project developers*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington; disponible (en inglés) en: <<http://dx.doi.org/10.18235/0002325>>.

- Somarakis, G., S. Stagakis y N. Chrysoulakis (eds.) (2019), *ThinkNature Nature-based solutions handbook*, Proyecto ThinkNature, financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención núm. 730338; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.26225/jerv-w202>>.
- Tien, S. et al. (2020), *Business case for Nature-based solutions: landscape assessment*, Pacto Mundial de las Naciones Unidas: el Mandato del Agua (*United Nations Global Compact CEO Water Mandate*) y The Pacific Institute, Oakland, California; disponible (en inglés) en: <<http://www.ceowatermandate.org/NbS/landscape>>.
- TNC (2019), *Insuring Nature to Ensure a Resilient Future*, The Nature Conservancy, en: <www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/insuring-nature-to-ensure-a-resilient-future> (consulta realizada el 22 de septiembre de 2022).
- TNC (2021), *A post-storm response and reef insurance primer*, The Nature Conservancy; disponible (en inglés) en: <www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/A_POST_STORM_RESPONSE_REEF_INSURANCE_PRIMER_2021_final.pdf>.
- TCA (2022), *Onslow-North River Managed Dyke Realignment and Tidal Wetland Restoration*, Adaptaciones Transcosteras (*TransCoastal Adaptations*, TCA), Centro de Soluciones Basadas en la Naturaleza; disponible (en inglés) en: <www.transcoastaladaptations.com/onslow-north-river> (consulta realizada el 21 de septiembre de 2022).
- Van Eekelen, E. y M. Bouw (eds.) (2021), “Building with nature: creating, implementing, and upscaling nature-based solutions”, *EcoShape*, NAI010 publishers, 256 pp., ISBN 978-94-6208-582-4.
- Vouk, I., B. Pilechi, M. Provan y E. Murphy (2021), *Nature-based solutions for coastal and riverine flood and erosion risk management*, Asociación Canadiense de Normalización (*Canadian Standards Association*, CSA); disponible (en inglés) en: <www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>.
- Whitfield, P. E. et al. (2022), *Swan Island: Monitoring and Adaptive Management Plan*, Informe ERDC TR-22-14, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingenieros (*Engineer Research and Development Center*), Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, Vicksburg, Misisipi, Estados Unidos; disponible (en inglés) en: <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1177024.pdf>>.
- Wijsman, K. et al. (2021), “Operationalizing resilience: co-creating a framework to monitor hard, natural, and nature-based shoreline features in New York State”, *Ecology and Society*, vol. 26(3); disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.5751/ES-12182-260310>>.
- Winters, M. A., B. Leslie, E. B. Sloane y T. W. Gallien (2020), “Observations and preliminary vulnerability assessment of a hybrid dune-based living shoreline”, *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 8(11), p. 920; disponible (en inglés) en: <<https://doi.org/10.3390/jmse8110920>>.
- Winters, M. A. et al. (2021), “Observations and physical monitoring of the Cardiff living shoreline”, en: 2021 Coastal dunes for resilience workshop, Proyecto Resilient Coastlines, Red Científica para el manejo de las dunas de California (*California Dune Science Network*), Laboratorio de Inundaciones Costeras de la Universidad de California en Los Ángeles (*UCLA Coastal Flood Lab*), en: <www.resilientcoastlines.com/post/observations-and-physical-monitoring-of-the-cardiff-living-shoreline> (consulta realizada el 20 de septiembre de 2022).

World Bank (2017), *Implementing Nature-based Flood Protection: Principles and Implementation Guidance*, Banco Mundial, Washington, D.C.; disponible (en inglés) en:
<<http://hdl.handle.net/10986/28837>>.