

# INFRAESTRUCTURA NATURAL

Oportunidades para optimizar la  
gestión de sistemas hídricos

Las inversiones en infraestructura hidráulica son altamente dependientes de la salud y buen funcionamiento de los ecosistemas que prestan servicios hidrológicos. Una combinación de infraestructura construida y natural puede garantizar cantidad y calidad de agua a menores costos de operación en el largo plazo, por lo que es fundamental incorporar Soluciones Basadas en la Naturaleza en la gestión del agua.

UICN América del Sur



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE**

La UICN es una Unión de Miembros compuesta por Estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil. Ponemos a disposición de las entidades públicas, privadas y no gubernamentales, los conocimientos y las herramientas que posibilitan, de manera integral, el progreso humano, el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza. Creada en 1948, la UICN se ha convertido en la red ambiental más grande y diversa del mundo. Cuenta con la experiencia, los recursos y el alcance de sus más de 1300 organizaciones Miembro y los aportes de alrededor de 15000 expertos. La oficina regional para América del Sur (conocida como UICN-Sur) tiene sede en la ciudad de Quito, Ecuador.

La presentación del material de esta publicación y las denominaciones empleadas para las entidades geográficas no implican en absoluto la expresión de una opinión por parte de la UICN o de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación sobre la situación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus autoridades, o acerca de la demarcación de límites y fronteras.

Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de la UICN o de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Esta publicación se desarrolló como material de apoyo en el marco del Proyecto BRIDGE: Construyendo Diálogos para la Buena Gobernanza del Agua; financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación e implementado por la UICN.

**Documento preparado por:** Emilio Cobo y María Laura Piñeiros

**Derechos reservados:** © 2020 Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales.

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales, sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor, siempre que se mencione la fuente.

Se prohíbe reproducir esta publicación para la venta o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

**Citación:** Cobo, E. Piñeiros L. 2020. Infraestructura Natural: Oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos. UICN. Quito – Ecuador.

**Foto de portada:** Ilan Ejzykowicz | Shutterstock

Disponible en línea: [www.iucn.org/sur](http://www.iucn.org/sur)

**UICN Sur**

Av. República del Salvador N34-127 y Suiza

Edificio Murano Plaza, piso 12

170515 Quito, Ecuador

Teléfono: (593 – 2) 33 30 684

Correo electrónico: [samerica@iucn.org](mailto:samerica@iucn.org)

Twitter: @UICN\_SUR



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE**

# Contenidos

<i>INFRAESTRUCTURA NATURAL   Oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos</i> .....	3
<i>BASES CONCEPTUALES</i> .....	6
<i>Funciones y servicios ecosistémicos hidrológicos, la base de la IN.</i> .....	8
<i>LA PLANIFICACIÓN DE IN</i> .....	11
<i>Principios orientadores para la planificación de IN.</i> .....	12
<i>Identificando prioridades de acción</i> .....	13
<i>ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA IN</i> .....	15
<i>EJEMPLOS DE APLICACIÓN</i> .....	17
<i>IN para la regulación de cantidad y calidad de agua</i> .....	19
<i>IN para reducir el riesgo de desastres asociados al agua</i> .....	20
<i>Restauración ecológica para contribuir con la protección de servicios ecosistémicos</i> .....	21
<i>Innovación en las prácticas productivas actuales</i> .....	22
<i>Manejo forestal como una alternativa de IN</i> .....	22
<i>La infraestructura natural en las ciudades</i> .....	24
<i>EL CASO DEL FONDO DE AGUA DE QUITO</i> .....	25
<i>Mensajes Clave</i> .....	26
<i>ANEXO 1: Las Soluciones Basadas en la Naturaleza</i> .....	i
<i>FUENTES</i> .....	ii

## Tablas

Cuadro 1: Definición de Soluciones Basadas en la Naturaleza (Cohen-Shacham, 2016) .....	3
Cuadro 2: Servicios Ecosistémicos vinculados al agua (UICN, 2018) .....	9
Cuadro 3: Categorías de infraestructura natural hídrica .....	10
Cuadro 4: Potencial de reducción de costos y co-beneficios asociados a la IN (Adaptado de (Browder , Ozment, Rehberger Bescos, Gartner, & Lange , 2019).....	16
Cuadro 5: Ejemplos de Infraestructura natural hídrica (UICN, 2018) .....	18
Cuadro 6: Prácticas de Manejo de ecosistemas para protección de servicios hidrológicos .....	24

## Figuras

Ilustración 1: Infraestructura Natural para la gestión del agua. (UICN 2017) .....	5
Ilustración 2: Comparación de escenarios de Infraestructura Gris e Infraestructura Híbrida .....	7

# INFRAESTRUCTURA NATURAL | Oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos

La Infraestructura Natural (IN) es reconocida, cada vez más, como una oportunidad viable para resolver los complejos desafíos que implica la gestión integrada de los recursos hídricos. Este enfoque, que es parte del paraguas de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN –ver Anexo 1), hace referencia a los **sistemas naturales o semi-naturales que proveen diversos servicios para la gestión hídrica, de forma similar a las funciones ofrecidas por la infraestructura convencional** (es decir la construida o “gris”). La IN puede ser vista individualmente o como un sistema de áreas verdes que ayuda a proteger y restaurar ecosistemas funcionales y abre un abanico de oportunidades para un desarrollo que promueve simultáneamente beneficios ecológicos, sociales y económicos.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza se definen como acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados para abordar los desafíos de la sociedad eficientemente y de manera adaptable, promoviendo simultáneamente el bienestar humano y beneficios para la biodiversidad.

CUADRO 1: DEFINICIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (COHEN-SHACHAM, 2016)

Por lo general, las soluciones de IN para la gestión del agua implican un esfuerzo deliberado y consciente de utilizar las funciones o servicios de los ecosistemas para satisfacer demandas vinculadas a la gestión del recurso hídrico. Al mismo tiempo, las medidas de IN pueden generar co-beneficios adicionales, como, por ejemplo, recuperación de suelos y control de sedimentos, control de inundaciones, aire y agua más limpios, hábitat para especies en peligro, mejoras en la salud pública o mayores oportunidades para la recreación. Si se utiliza un enfoque holístico e integral, la IN apoyará el cumplimiento simultáneo de varios objetivos de desarrollo sostenible. Por ejemplo, la conservación de una llanura natural de inundación o un humedal puede reducir el riesgo de inundaciones en una ciudad cuenca abajo y al mismo tiempo mejorar la calidad del agua, recargar un acuífero, sostener recursos pesqueros y crear beneficios recreacionales para el turismo.

Problemas como las inundaciones, deslaves o la preservación de caudales de agua pueden resolverse a través de la conservación y restauración ecológica de cuencas hidrográficas o de zonas estratégicas dentro de un paisaje. Prácticas como la reforestación y restauración de ecosistemas riparios pueden ser implementadas con el fin de estabilizar cauces de ríos y prevenir desbordamientos. O la depuración y mejora de la calidad del agua a través de sistemas de humedales que realizan fito-remediación. Estos son sólo algunos ejemplos de IN cada vez más aplicados en la gestión integrada de cuencas y en la planificación urbana.

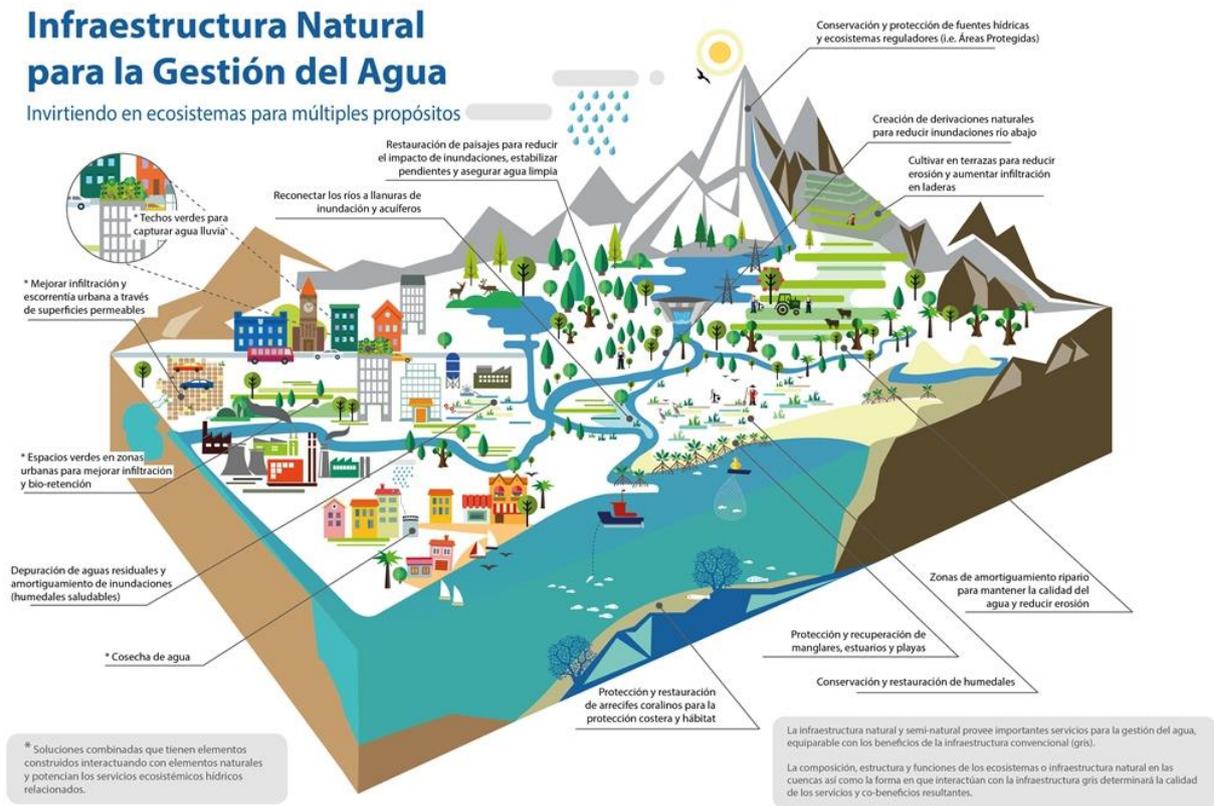
Adicionalmente, mientras que el valor y los beneficios de una infraestructura gris pueden depreciarse en el tiempo, muchas soluciones de IN pueden aumentar su valor y funciones, ya sea porque se regeneran los suelos, se generan beneficios a la biodiversidad o se provee de otros servicios ecosistémicos para la sociedad, más allá del aspecto hídrico.



La *Infraestructura Natural Hídrica* está en el corazón de la *Adaptación basada en Ecosistemas* (AbE) que consiste en la “utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como parte de una estrategia amplia de adaptación, para ayudar a la sociedad a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático a un nivel local, regional y global” (CDB, 2009). La capacidad de la IN para construir resiliencia al cambio climático ha sido comprobada en diversos ejemplos alrededor del mundo, desde la conservación de sistemas de manglar que sirven de protección frente al incremento del nivel del mar y los procesos de erosión costera, hasta la gestión de áreas verdes para regular la temperatura en zonas urbanas y aumentar la capacidad de infiltración a través de superficies permeables.

El creciente interés en la aplicación de la IN está impulsado por la combinación de diversos factores como son la necesidad de mejorar la gestión de los recursos hídricos, el aumento de la demanda de agua y los crecientes impactos del cambio climático, incluyendo los eventos climáticos extremos como las inundaciones y sequías. De igual forma existe mayor interés desde los planificadores del territorio, diseñadores de proyectos y tomadores de decisiones en aplicar alternativas ingenieriles que sean costo-efectivas, ofrezcan soluciones de largo plazo y sean ambientalmente amigables.

Una de las mayores barreras para la adopción de este enfoque es la falta de consciencia sobre la diversidad de alternativas de IN, su viabilidad y su costo-efectividad. En este documento se revisan algunos ejemplos y alternativas prácticas que permiten aclarar las opciones de implementación de IN para diversos contextos y motivan la adopción de este enfoque dentro del diseño de proyectos hídricos, el contexto urbano o las estrategias para la gestión integrada del paisaje.



© IUCN Water

ILUSTRACIÓN 1: INFRAESTRUCTURA NATURAL PARA LA GESTIÓN DEL AGUA. (IUCN 2017)

## BASES CONCEPTUALES

Los enfoques tradicionales para infraestructura hídrica, como represas, diques, o plantas de tratamiento de agua, conocidos como “infraestructura gris”, tienen diversas limitaciones. En muchos casos, estos proyectos de ingeniería tradicional requieren grandes inversiones de capital para su construcción, operación y mantenimiento; y pueden tener consecuencias devastadoras para el entorno natural. Adicionalmente, estas estructuras suelen ser poco flexibles para adaptarse a los cambios y las incertidumbres de tipo climático o socio-económico. Por otro lado, los ecosistemas y sus servicios, conocidos como “infraestructura natural”, pueden ofrecer una gama más flexible de soluciones, al mismo tiempo que protegen y complementan el buen funcionamiento de la infraestructura gris. Por ejemplo, los bosques y matorrales dentro de una cuenca pueden ayudar a prevenir la erosión y consecuente sedimentación de reservorios de agua, un problema que limita la capacidad de almacenamiento y afecta el funcionamiento de turbinas de generación hidroeléctrica. Este es un importante aporte al tiempo de vida útil de un embalse y un valioso ahorro en términos económicos.

Además, la infraestructura natural rescata los conocimientos ancestrales sobre las funciones y ciclos del ecosistema y su relación con las comunidades. Apoya en el mantenimiento y generación de medios de vida dignos y sostenibles para los más necesitados. Por ejemplo, remanentes de ecosistemas de manglar en las líneas de costa actúan como defensa contra el oleaje y la erosión marina, evitan la salinización de acuíferos que son fuente de agua, pero también permiten que comunidades recolectoras de recursos hidrobiológicos marinos (peces, crustáceos o moluscos) mantengan su actividad económica. El profundo conocimiento que estos actores tienen acerca de la ecología del manglar los hace una importante fuente de información para orientar las decisiones de manejo que permitan optimizar los servicios provistos por este ecosistema.

Los sistemas hídricos (ya sean de aprovisionamiento de agua, tratamiento de descargas, control de inundaciones o regulación de caudales) deben ser conceptualizados como sistemas complementarios, o híbridos, en donde se combinan la infraestructura gris y la natural. Este modo de operar en tándem y en sincronía requiere entender muy bien las complementariedades de una estructura construida con las funciones que desempeña un ecosistema. Un primer paso es comprender los procesos naturales y los vínculos entre el ciclo del agua, los suelos, el reciclaje de nutrientes y la cobertura vegetal en un espacio determinado.

# Servicios Hidrológicos Provistos por la Infraestructura Natural

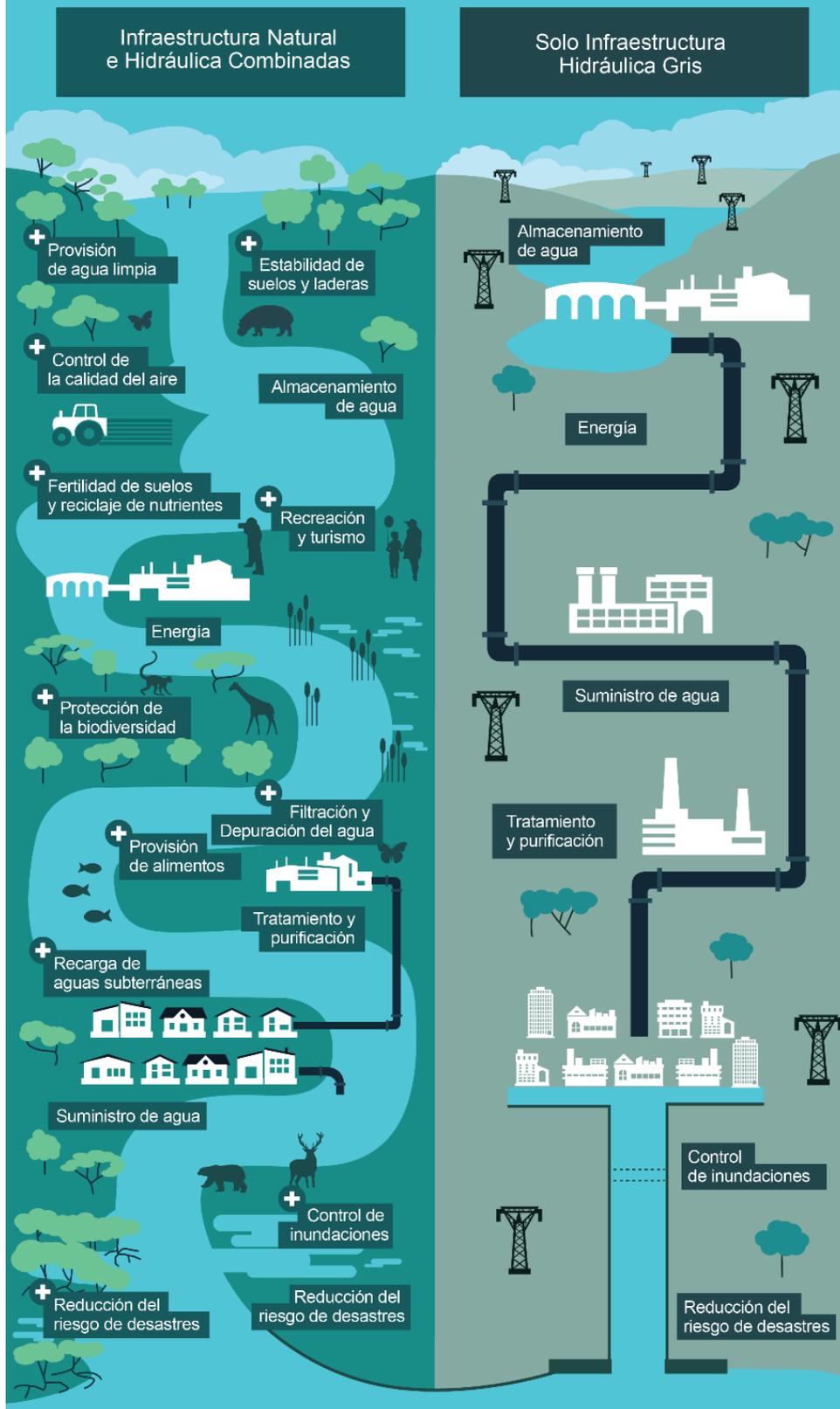
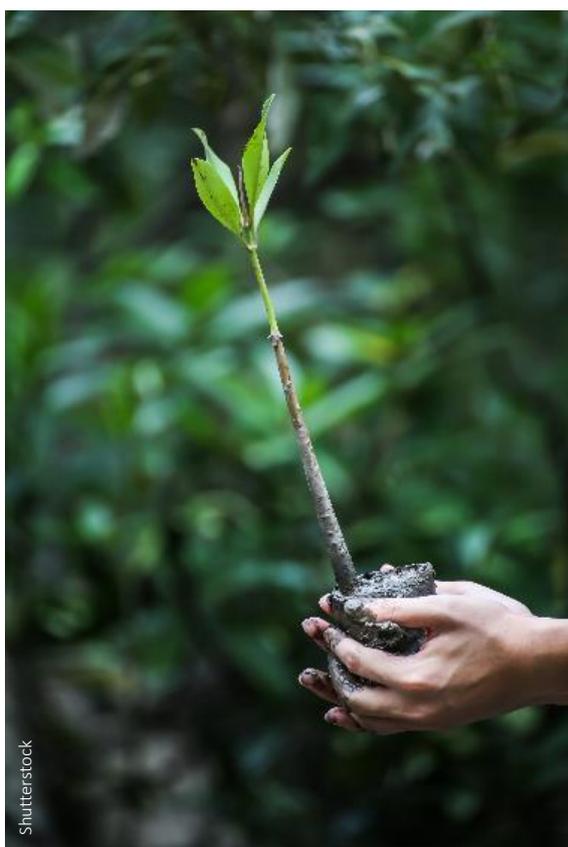


ILUSTRACIÓN 2: COMPARACIÓN DE ESCENARIOS DE INFRAESTRUCTURA GRIS E INFRAESTRUCTURA HÍBRIDA

## Funciones y servicios ecosistémicos hidrológicos, la base de la IN.

Se entiende como función ecosistémica a los procesos biológicos, geoquímicos y físicos que tienen lugar u ocurren dentro de un ecosistema. Las funciones ecosistémicas se relacionan con los componentes estructurales del ecosistema (por ejemplo: el suelo, agua, nutrientes, las especies animales y vegetales), y cómo éstos interactúan dentro y a través de los ecosistemas. A veces, a las funciones ecosistémicas se las llama también “procesos ecológicos”. Cuando estas funciones ofrecen uno o más beneficios para la vida humana se interpretan como “servicios ecosistémicos”, un concepto que permite valorarlos.

Los procesos ecológicos en una cuenca hidrográfica influyen en la cantidad y calidad del agua y la forma en que ésta se mueve a través de un sistema. Así como en la formación del suelo, los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos; lo que a su vez puede ejercer una influencia importante en la hidrología. Los suelos son un componente crucial para el control del movimiento y la infiltración de agua, su almacenamiento y transformación. Y aunque los bosques a menudo son el principal centro de atención cuando se habla de cobertura del suelo e hidrología, los pastizales, humedales, matorrales y las tierras agrícolas también juegan un papel importante.



La biodiversidad también tiene un papel primordial pues es la base de los procesos y funciones ecosistémicas y, por lo tanto, de la provisión de servicios ecosistémicos (WWAP, 2018). Los ecosistemas tienen una influencia importante en el reciclaje de la precipitación desde una escala local hasta una continental. En lugar de considerarse como “consumidora” de agua, la vegetación es vista más bien como “recicladora” de agua. Globalmente, hasta el 40% de las precipitaciones de la tierra tienen su origen en la transpiración de las plantas a barlovento y en otras evaporaciones terrestres. Esta fuente representa la mayoría de las precipitaciones en algunas regiones (WWAP, 2018).

La primera formalización científica del concepto de Servicios Ecosistémicos fue otorgada por Daily (1997), definiéndolos como las condiciones y procesos a partir de los cuales los ecosistemas y las especies mantienen y satisfacen la vida humana. Ahora, los servicios ecosistémicos se entienden a partir del vínculo entre los ecosistemas con el bienestar de la sociedad. Todos los seres humanos dependemos necesariamente de los distintos ecosistemas de la Tierra y de los bienes y servicios

que éstos proporcionan, como el agua, alimentos, regulación del clima, la belleza escénica (MEA, 2005)

La relación entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano se puede evaluar mejor en unas escalas espaciales que en otras. La cuenca hidrográfica o una comunidad local, en algunos casos, puede ser la escala más adecuada debido a que muchos flujo físicos, geológicos, químicos y biológicos pueden completar su ciclo en este territorio. En otros casos, se apunta a la “cuenca de precipitación” como base para la gestión ya que las decisiones relacionadas con el uso y cobertura de la tierra en un lugar determinado pueden tener consecuencias importantes para los recursos hídricos, las personas, la economía y el ambiente en lugares distantes, debido al reciclaje de la precipitación que realiza la vegetación. Es importante entender que la elección de una escala debe basarse en la naturaleza de los procesos socio-ambientales que nos interesa evaluar.

Aunque el buen manejo de los ecosistemas retribuirá beneficios en diversas áreas, también es posible enfocar el análisis en algún tipo particular de servicio como, en este caso, los relacionados al agua. Los servicios hidrológicos provistos por los ecosistemas tienen que ver con el mantenimiento y regulación del ciclo del agua, lo que a su vez garantiza agua en cantidad y calidad para diversos usos humanos (consumo, agricultura, industria, generación de energía) y procesos naturales (funcionalidad de ecosistemas y especies, recarga de acuíferos, etc.). Además, se reconoce que una buena gestión de los ecosistemas reduce el riesgo de eventos extremos como sequías e inundaciones y aumenta la resiliencia de las cuencas hidrográficas y las economías locales frente al cambio climático.

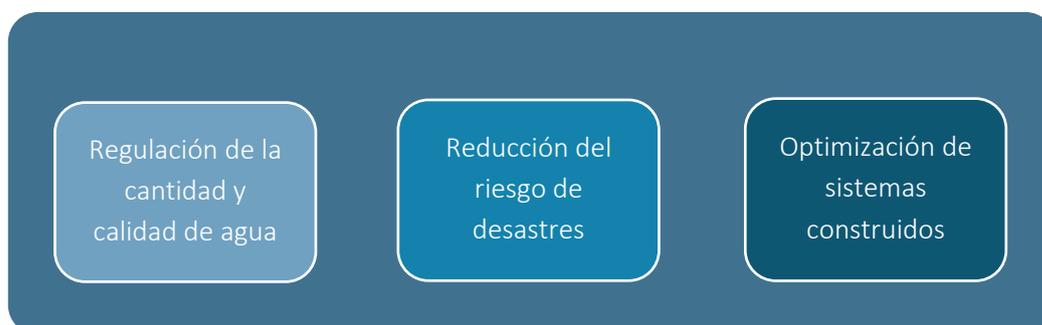
Servicios de provisión	Servicios de regulación
<p>Servicios relacionados con el aprovisionamiento de comida y otros productos desde los flujos de agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Provisión de agua dulce</li> <li>• Pesca</li> <li>• Producción del cultivos y frutales</li> <li>• Producción agropecuaria</li> <li>• Producción piscícola</li> <li>• Provisión de madera y materiales para la construcción</li> <li>• Medicinas</li> <li>• Energía hidráulica</li> <li>• Navegación</li> </ul>	<p>Servicios referentes a la regulación de los flujos o reducción de riesgos relacionados a los flujos de agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de los ciclos hidrológicos (amortiguar la escorrentía, infiltrar agua por el suelo, recargar acuíferos, mantener flujos de base).</li> <li>• Mitigación de riesgos naturales (reducir fluctuaciones, reducir movimientos en masa)</li> <li>• Protección del suelo y control de la erosión y sedimentación</li> <li>• Control de la calidad del agua superficial y subterránea</li> </ul>
Servicio de soporte	Servicios culturales y de recreación
<p>Servicios relacionados con el mantenimiento de hábitat y funciones de los ecosistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hábitat para vida silvestre</li> <li>• Régimen del flujo de agua y de sedimentos para mantener a los usuarios y ecosistemas aguas abajo.</li> </ul>	<p>Servicios relacionados con la recreación e inspiración humanas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreación acuática</li> <li>• Belleza escénica</li> <li>• Patrimonio, cultura e identidad</li> <li>• Inspiración estética y espiritual</li> </ul>

CUADRO 2: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS VINCULADOS AL AGUA (UICN, 2018)

En este sentido, los servicios de los ecosistemas relacionados al agua son fundamentales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que en su numeral 6 plantea metas específicas relacionados al acceso y gestión de los recursos hídricos (Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible). Es más, se reconoce que los servicios ecosistémicos hidrológicos son esenciales y transversales para la consecución de todas las metas de desarrollo como agricultura sostenible (ODS 2, meta 2.4), vidas saludables (OSD3), construcción de infraestructura resiliente (ODS 9), asentamientos urbanos sostenibles (ODS 11) y reducción del riesgo a desastres (ODS 11 y 13), reducción de la presión en el uso de la tierra (ODS 14) y protección de los ecosistemas y la biodiversidad (ODS 15) (WWAP, 2018).

La IN utiliza sistemas naturales o semi-naturales como una solución (SbN) para proporcionar opciones de gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a las infraestructuras convencionales “grises” (construidas/físicas) de agua. En algunas situaciones, los enfoques basados en la naturaleza podrían ofrecer la principal solución viable (por ejemplo, la restauración del paisaje para luchar contra la degradación de la tierra y la desertificación), mientras que para otros propósitos solo funcionará una solución construida (por ejemplo, suministrar agua a una vivienda mediante tuberías y grifos). En la mayor parte de los casos, sin embargo, la infraestructura natural y gris puede y debe funcionar de forma complementaria, lo que llamaremos “híbridos” (verde/gris). Algunos de los mejores ejemplos del despliegue de IN están donde mejoran el rendimiento de la infraestructura construida. La situación actual, con una infraestructura gris obsoleta, inapropiada o insuficiente en todo el mundo, crea oportunidades para la IN como soluciones innovadoras que incorporan perspectivas de servicios ecosistémicos, mayor resiliencia y consideraciones relacionadas con los medios de vida en la planificación y gestión del agua (WWAP, 2018).

En términos generales podríamos categorizar a la IN hídrica en tres grandes grupos como se detalla a continuación:



CUADRO 3: CATEGORÍAS DE INFRAESTRUCTURA NATURAL HÍDRICA

## LA PLANIFICACIÓN DE IN

Los enfoques tradicionales de gestión hídrica tienen un fuerte componente de ingeniería gris y se inclinan hacia la construcción de infraestructura como diques, embalses, trasvases u obras de encauzamiento artificial de ríos. Si bien algunas de estas medidas contribuyen a la provisión de agua para diversos usos humanos o a reducir el riesgo de desastres, olvidan el papel fundamental que desempeñan los ecosistemas en la regulación del ciclo hidrológico y las oportunidades que pueden nacer al complementar las inversiones destinadas a infraestructura convencional con soluciones naturales.

En un escenario deseado, la IN debería ser concebida desde la fase de diseño de un proyecto o cuando se elaboran los planes de ordenamiento territorial o de cuenca hidrográfica. Sin embargo, existen proyectos de infraestructura ya construidos o ciudades que no fueron concebidas así, donde la IN aún puede traer beneficios múltiples si es incorporada adecuadamente. Tal puede ser el caso de un proyecto hidroeléctrico o una presa de almacenamiento de agua para irrigación, en donde, si bien no fue diseñada en complemento con los ecosistemas de la cuenca que regulan los caudales de agua y la carga de sedimentos al embalse, puede beneficiarse de un programa de acción que trabaje en la conservación y restauración de los ecosistemas que cumplen esas funciones. Estas acciones podrían generar ahorros en la operación del proyecto, garantizando caudales de agua en época de sequía y alargando el tiempo de vida útil del embalse al evitar la colmatación por sedimentos.

El diseño y aplicación de IN debe considerar que las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se distinguen de la conservación tradicional ya que buscan la gestión activa de los ecosistemas con el objetivo de satisfacer necesidades para varios grupos de interés. La implementación de las SbN necesita vincular la política con la acción a distintas escalas y en distintos sectores. Su aplicación requiere la consideración de los roles y competencias institucionales, así como la participación de actores a nivel nacional, regional, local; comunitario, académico y sociedad civil.

Para alcanzar un marco coherente de aplicación de la IN, la seguridad hídrica debe ser un eje estratégico en la planificación del territorio. Los beneficiarios del agua, tales como juntas de riego, proyectos hidroeléctricos o de agua potable, municipalidades, industrias y organizaciones con interés en la conservación de los ecosistemas, deben trabajar en conjunto para encontrar alternativas que garanticen cubrir las necesidades de todos, de los ecosistemas y de las generaciones futuras. En muchos casos, esto significa construir mosaicos de paisaje que incluyan pastizales y áreas de cultivo, pero también bosques, humedales y áreas de amortiguamiento en riberas. Modificar las combinaciones de uso y cobertura de suelo trae consigo cambios en los servicios ecosistémicos hidrológicos provistos por el conjunto del paisaje, lo que repercute directamente en el bienestar humano.

Es importante evidenciar la relación entre la condición de los ecosistemas y su capacidad de proveer servicios hidrológicos. Diferentes combinaciones de ecosistemas naturales y modificados proveen distintos “paquetes de servicios”, en diversas cantidades y momentos. Reconocer los beneficios aguas abajo es una de las motivaciones más importantes para influir en la toma de decisiones y manejo de cuencas en la parte alta. El reto para los tomadores de decisiones es articular el tipo e intensidad del uso y cobertura del suelo de manera que produzca una combinación óptima. También, definir y cuantificar una serie de indicadores que demuestren que estos beneficios efectivamente se están entregando, tomando en cuenta que muchas funciones y procesos de los ecosistemas están entrelazados y, en consecuencia, los indicadores necesitan aportar con información del estado y de las interacciones dinámicas. En este sentido, un acercamiento válido a la planificación es establecer **indicadores de servicios hidrológicos**. Se debe identificar el tipo y fuentes de información apropiados y organizarlos de manera que se puedan utilizar para la planificación, negociación y monitoreo de las acciones en la cuenca. Así, se busca responder a las preguntas de cuáles y qué nivel de servicios se necesitan en la parte baja de la cuenca y cuál es la capacidad del mosaico del paisaje para satisfacer esa demanda.

## Principios orientadores para la planificación de IN

En los distintos escenarios de aplicación de IN, la planificación es un paso crucial que puede marcar la diferencia en la eficiencia y éxito de una inversión. Desde la academia han surgido varias propuestas sobre principios que podrían guiar mejor la etapa de planificación de la IN. A menudo se menciona a la conectividad, multifuncionalidad, o participación social. Muchos de estos principios vienen de la teoría de planificación, del enfoque ecosistémico o de otros acercamientos que no implican un marco de principios completamente ajeno a la planificación de IN. Al contrario, la aplicación de IN también representa una oportunidad para innovar en los enfoques de planificación y recoger experiencias exitosas de otros campos, como la planificación de paisaje, conservación de la naturaleza o la bioingeniería.



Entre los principios que pueden orientar la planificación de IN, se menciona:

- **Multinivel:** hace énfasis en la implementación de IN a diferentes escalas territoriales y de gestión, considerando las particularidades locales.
- **Conectividad:** La planificación de IN promueve la conexión física y funcional entre los espacios verdes a diferentes escalas y desde perspectivas diversas.
- **Multifuncionalidad:** genera beneficios múltiples, en el ámbito social, ambiental y económico y satisface las necesidades de diversos grupos de interés.
- **Equidad e inclusión social:** la planificación y gestión de IN es incluyente, participativa y privilegia los modos de vida y saberes tradicionales; así como promueve beneficios a los grupos más vulnerables (jóvenes, ancianos, mujeres y grupos indígenas).
- **Efectividad:** es costo-efectiva y define metas y objetivos claros, medibles y verificables.
- **Complementariedad:** Toda medida de infraestructura hidráulica construida debe complementarse con IN para su mejor funcionamiento en la gestión de los recursos hídricos.
- **Integralidad:** las soluciones naturales serán parte integrante del diseño de políticas, medidas, planes o acciones que involucren la gestión del agua.
- **Prevención:** se priorizará las acciones para anticipar los daños al deterioro o pérdidas de funciones ecosistémicas hidrológicas
- **Transdisciplinarietà:** Está basada en el conocimiento de diferentes disciplinas y atraviesa límites disciplinarios para crear un enfoque holístico

## Identificando prioridades de acción

Parte del proceso de planificación también debe consistir en hacer un uso eficiente de los recursos que serán invertidos en IN. Son varios los esfuerzos que despliegan organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para el manejo y gestión de cuencas hidrográficas o espacios urbanos, la mayoría de veces, con recursos limitados. Esta situación invita a reflexionar sobre: ¿Cuáles áreas demandan intervención inmediata, en el mediano y largo plazo? ¿En qué lugares de la cuenca o de una ciudad, los recursos y esfuerzos que se inviertan alcanzarán los mayores impactos? ¿Cómo se pueden articular esfuerzos e incentivos para lograr mayor eficiencia y eficacia?

Entonces, se sugiere realizar un proceso de priorización de intervención que permita:

- Identificar y establecer áreas de intervención que requieren atención prioritaria, urgente o estratégica, en función de la demanda de la cuenca.

- Realizar inversiones más eficaces en áreas que demandan mayor prioridad, como resultado de la interrelación de diferentes parámetros político-institucionales, ambientales, económicos y sociales.
- Articular distintos intereses institucionales en áreas comunes; un área priorizada se constituye en una oportunidad para que las distintas instituciones que vienen actuando, construyan una visión compartida del territorio, coordinen acciones, organicen y distribuyan los esfuerzos de ejecución y regulación de los incentivos disponibles.

La priorización de áreas en una cuenca se relaciona con distintas dimensiones, desde aspectos biofísicos, hidrológicos, socioculturales, tecnológicos, económicos e institucionales. El propósito es comparar distintos escenarios para seleccionar aquellas acciones que permitan el cumplimiento de los objetivos de desarrollo y que permitan tomar decisiones, lo más acertadas posibles, acerca de ¿Qué hacer? ¿Dónde implementar? ¿Con quién hacerlo? y ¿Cuándo hacerlo? Y, particularmente, ¿cómo se distribuirán los costos y beneficios de una intervención?

Los procesos de priorización, deben satisfacer algún propósito nacional, regional, local o institucional, por ejemplo, priorizar cuencas para protección de caudales, para control de sedimentos, para manejo forestal, para mejoramiento productivo o desarrollo socioeconómico. Estos objetivos condicionan, de alguna manera, la participación de distintos actores en la priorización donde se articulan los distintos intereses y su accionar en la toma de decisiones, planificación, ejecución, monitoreo y evaluación.

Existen distintos métodos de priorización. Por ejemplo, en Colombia se desarrolló una herramienta con criterios y parámetros para ordenar cuencas, con base en una técnica de valoración con expertos con votación compuesta (IDEAM, 2002). Un procedimiento similar fue el utilizado por Sánchez *et al* (2004) aplicando el análisis multi-criterio y sistemas de información geográfica para la priorización de áreas que permitan el manejo de la cantidad y calidad de agua de la cuenca del río Sarapiquí en Costa Rica. Otros ejercicios contemplan la técnica de álgebra de mapas para priorizar cuencas, subcuencas y microcuencas (Faustino, 1986), combinando con encuestas Delphi para la determinación de áreas/polígonos de importancia estratégica en microcuencas abastecedoras de agua para consumo de poblaciones en Medellín Colombia (Hincapié & Lema, s/f.). O ejercicios como el de Guillpen *et al* (2004), utilizaron un procedimiento de programación lineal y sistemas de información geográfica integrando variables socioeconómicas y biofísicas para optimizar el uso de la tierra en la subcuenca del río Copán en Honduras.

## ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA IN

El componente económico de la IN es uno de los principales aspectos que debemos abordar para movilizar financiamiento y argumentar sólidamente las ventajas de su aplicación. Ya sea por el retorno de las inversiones, su eficiencia de rentabilidad o los costos evitados que implican su implementación, el aspecto económico debe ser abordado minuciosamente. Para esto es necesario entender la estructura de costos y beneficios económicos, tanto en su diseño e implementación como en los resultados a largo plazo, que pueda ofrecer la IN.

Por ejemplo, una vez que un municipio o una empresa ha decidido invertir en la provisión de agua potable para una ciudad, le corresponde analizar la alternativa más costo-efectiva. En el caso de sistemas híbridos (verde/gris), cada componente del sistema de infraestructura estará diseñado para trabajar en armonía con el conjunto para minimizar los costos. En el caso de una planta de potabilización de agua, ésta debe proveer agua de calidad bajo ciertos parámetros establecidos por la ley. Un análisis costo-efectividad determinará cuál es la mejor tecnología y diseño de planta para alcanzar esos estándares al menor costo. Si el proyecto de tratamiento de agua se articula con el programa de gestión de la cuenca hidrográfica que provee de agua a esa planta potabilizadora, uno de los objetivos de la empresa de agua puede ser encontrar la combinación más rentable entre acciones para proteger la cuenca y los ecosistemas, que regulan los caudales y calidad del agua, y las opciones de tratamiento tradicionales en miras de alcanzar la calidad de agua que busca. En términos de costos, es posible que sea más eficiente proteger o restaurar las fuentes de agua que invertir en más productos químicos para el proceso de potabilización o diseñar una planta de tratamiento más grande. Es así que la IN puede ser una solución económicamente rentable para este proveedor de servicio.

Además de este análisis costo-beneficio, se debe considerar que la IN ofrece co-beneficios importantes en el ámbito social y ambiental, que van más allá de la provisión de servicios hidrológicos para los que fue diseñada. Como un caso de ejemplo, podríamos usar la infraestructura (verde y/o gris) para control de inundaciones. Este servicio utiliza al riesgo de inundación como su estándar, expresado en la frecuencia de inundaciones (número de inundaciones en un periodo de tiempo) o período de retorno de la inundación extrema (10, 50 o 100 años). Para cada estándar de servicio existen beneficios que pueden ser cuantificados, por ejemplo, en términos de daños evitados al reducir la frecuencia o intensidad de los eventos. También existen costos que pueden ser calculados en términos de capital de inversión y costos operativos de la infraestructura. En el caso de la infraestructura gris, estos beneficios y costos están bien identificados y se asocian directamente con el estándar del servicio. En el caso de la IN, por ejemplo, re-vegetar las riberas de los ríos, los beneficios van más allá del estándar de servicio de control de inundaciones, ya que estos espacios verdes pueden ser también corredores para la biodiversidad o espacios de recreación y ocio para una ciudad.

Adicionalmente, mientras que la infraestructura gris tiene un tiempo de vida útil acotado, la IN puede seguir ganando valor con el paso del tiempo, por ejemplo, estimar mitigación de las emisiones de carbono por mantener la cobertura de suelo. Estos co-beneficios, no siempre evidentes o directamente relacionados con el estándar de servicio, que muchas veces se entregan en el largo plazo, deben ser tomados en cuenta y valorados el momento de realizar el análisis económico de las soluciones de IN.

Si se desea capturar el impacto total de invertir en IN para la sociedad, o si se quiere abrir oportunidades de colaboración entre inversionistas que compartan los beneficios de esa IN, se deberían considerar criterios que van más allá de la costo-efectividad para un servicio particular. La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de cómo la IN puede reducir los costos de la infraestructura gris y algunos ejemplos de co-beneficios.

SERVICIO	OPCIONES DE IN COMBINADA	CO-BENEFICIOS ECONÓMICOS
Provisión de agua & hidroelectricidad	Cuencas bien gestionadas pueden extender la vida útil del reservorio, reducir la carga de sedimentos a embalses, reducir los costos de operación y mantenimiento de una planta potabilizadora, y potencialmente reducir la inversión de capital en sistemas de tratamiento.	Cuenca hidrográfica: Productos no maderables del bosque, oportunidades para el turismo ecológico y la recreación, almacenamiento de carbono, biodiversidad, preservación del patrimonio cultural.
Gestión de inundaciones & erosión costera	Barreras costeras naturales como manglares, humedales costeros o bancos de arena, reducen los costos de invertir en infraestructura gris como diques o rompeolas. Estas barreras pueden reducir la energía de las olas y la altura de una marejada, reducen los costos de soluciones grises y las hacen más resilientes.	Barreras costeras naturales: Pesquerías más productivas, turismo costanero y recreación, almacenamiento de carbono, apoyo a la biodiversidad marina.
Gestión de inundaciones fluviales	Las llanuras de inundación reducen los costos de construir infraestructura gris, como muros de contención, compuertas de regulación de cauces o estaciones de bombeo de aguas residuales. Estas llanuras almacenan temporalmente el agua de inundación y reducen el nivel del agua, reduciendo costos y mejorando la resiliencia de la infraestructura construida.	Mayores oportunidades de recreación, mejoras en la calidad del agua, hábitat para especies de valor comercial para la pesca y para especies migratorias de aves, redistribución de nutrientes, recarga de acuíferos, almacenamiento de carbono.
Gestión del agua-lluvia en zonas urbanas	Las zonas de retención de agua-lluvia reducen los costos de los sistemas de drenaje, estaciones de bombeo, y el tratamiento de aguas residuales y pluviales combinadas. También pueden ayudar a filtrar componentes contaminantes.	Zonas de retención de agua-lluvia: Creación de parques recreacionales, mejoras a la ecología urbana, aumenta el valor de las propiedades de 5 a 15% y genera beneficios a la salud de los habitantes.
Gestión de sequías	Acuíferos bien gestionados pueden reducir la necesidad de invertir en reservorios o plantas desalinizadoras y sus sistemas de distribución.	Acuíferos: Combatir la subsidencia de tierras, prevenir la salinización de acuíferos en zonas costeras, mejorar la cobertura arbórea ya que se mantiene alta la mesa de agua subterránea.
Agricultura, riego y drenaje	Buena gestión de suelos: puede ayudar a mejorar la capacidad de retención de agua de los suelos y reducir los costos incurridos en sistemas de riego.	Suelos bien gestionados: mayor productividad agrícola, reducción de la pérdida de suelo y erosión, beneficios ecológicos.

CUADRO 4: POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE COSTOS Y CO-BENEFICIOS ASOCIADOS A LA IN (ADAPTADO DE (BROWDER , OZMENT, REHBERGER BESCOS, GARTNER, & LANGE , 2019)

## EJEMPLOS DE APLICACIÓN

El cuadro 5 presenta algunas opciones de infraestructura natural y gris para la provisión de diversos servicios hidrológicos.

Ejemplos de Infraestructura		Servicios Hidrológicos										
		Regulación de la cantidad de agua	Regulación de la calidad del agua					Reducción del riesgo a desastres				
			Potabilización del agua	Control de erosión y sedimentación	Control biológico	Control de contaminantes químicos	Control de la temperatura del agua	Control de inundaciones ribereñas	Escurrimiento urbano de aguas pluviales	Control de inundaciones costeras	Sequias	Movimientos en Masa
Infraestructura natural	Reforestación y conservación forestal	••	••	••	••	••	••	••	••	•	•	••
	Reconexión de ríos a llanuras de inundación	•	•	••	•		•	••		•	•	
	Restauración / conservación de humedales	••	•		••	••	•				•	
	Construcción de humedales	••	•		••	••	•				••	
	Espacios verdes para biorretención e infiltración	••	••						••		•	
	Espacios verdes para sombra						••				••	
	Zonas de amortiguamiento ribereñas		•	••	•	•	•	••		•		
	Restablecer áreas naturales de inundación							••	••	••		
	Protección / restauración de manglares, marismas costeras y dunas									••		
	Protección / restauración de arrecifes									•		
Híbridos	Captación de agua	••							••		••	
	Pavimentos permeables	••	••						••		••	
	Techos verdes								••		••	
Infraestructura construida	Presas, bombeos de agua subterránea, sistemas de distribución de agua	Planta de tratamiento de agua	Reforzamiento de pendientes	Planta de tratamiento de agua	Planta de tratamiento de agua	Presas	Presas y diques	Infraestructura urbana de aguas pluviales, parques inundables	Malecones	Presas y diques	Muros de contención	

• Regulación de la Cantidad y Calidad del agua      • Optimización de sistemas construidos      • Reducción del riesgo de desastres

CUADRO 5: EJEMPLOS DE INFRAESTRUCTURA NATURAL HÍDRICA (UICN, 2018)

## IN para la regulación de cantidad y calidad de agua

Al analizar opciones de IN para asegurar caudales y calidad de agua, inevitablemente dirigimos nuestra mirada hacia los páramos, bosques, matorrales y humedales como ecosistemas remanentes que tienen la función primordial de captar, almacenar temporalmente la precipitación y facilitar su infiltración y movimiento al interior del suelo para alimentar los escurrimientos subsuperficiales y de base. Un mejor funcionamiento de los escurrimientos de base demuestra una contribución en términos de regulación del agua. Estos ecosistemas también tienen la importante función de regulación de la calidad de agua al retener sedimentos y filtrar contaminantes. Bajo este contexto, no se puede evitar la protección de sus remanentes como práctica fundamental para la provisión de servicios hidrológicos.

Allí donde el agua está contaminada, tanto los ecosistemas construidos como los naturales pueden ayudar a mejorar su calidad. La contaminación de fuentes no puntuales (difusa) provocada por la agricultura, especialmente la carga de nutrientes debido a la sobre utilización de fertilizantes, sigue siendo un problema crítico en todo el mundo, incluso en los países desarrollados. Es también uno de los retos que mejor se adaptan a las soluciones de IN, ya que ésta puede rehabilitar los servicios del ecosistema y permitir que los suelos mejoren la absorción de los nutrientes y, por tanto, disminuir la demanda de fertilizantes y reducir la escorrentía y/o infiltración de nutrientes a las aguas subterráneas (WWAP, 2018).

En el caso de IN para conservar super de abastecimiento para consumo humano y agrícola se debe prestar particular atención a la protección de los bofedales, páramos, bosques y matorrales que aún se mantienen en la cuenca, aplicando distintos instrumentos y prácticas, a fin de que no se degraden o se pierda superficie adicional. Estos ecosistemas regulan la cantidad y calidad de agua en la cuenca; entre más superficie cubierta por estos ecosistemas se disponga y mejor sea su estado de conservación, mayor será su capacidad reguladora de agua.

Los bofedales y páramos, de por sí, son considerados fábricas de agua debido a la capacidad de almacenamiento de sus suelos de origen volcánico, profundos y ricos en materia orgánica. Los páramos registran mayor intercepción de lluvia y mayor regulación hídrica que otros usos de suelo; mayor evapotranspiración, mayor flujo de base y menor flujo máximo que áreas de cultivos y pastizales; y, mayor retención hídrica que plantaciones forestales con especies exóticas (Cerrón, del Castillo, Bonnesoeur, Peralvo, & Mathez-Stiefel, 2019). La conversión de pajonales a pastizales produce un efecto negativo aún mayor al producido por la conversión de bosques a plantaciones de pino, debido a la compactación de los suelos por el pisoteo del ganado. Esto reduce la capacidad de retención de agua y la permeabilidad que puede reducirse a 1,5 y 1,78 cm/hora de valores entre 6,1 y 7,33 cm/hora medidos en páramos no alterados (Díaz & Paz, 2002).

Los bosques andinos son reconocidos por su importancia hidrológica como reguladores de caudales, puesto que ayudan a controlar y mantener los flujos de agua durante periodos secos

(Bruijnzeel, 2004). Tienen una capa de hojarasca en descomposición y humus sobre el suelo que ayuda a “retener o atrapar” temporalmente agua y facilitar su infiltración, alimentando con ello los escurrimientos profundos o de base. Por lo general, se caracterizan por tener baja evapotranspiración y entradas con precipitaciones relativamente altas (Tobón, 2009). La presencia de niebla influye en la reducción de la radiación solar y de evapotranspiración. Además de la hojarasca, en los bosques andinos también se encuentran musgos y briofitas que cumplen la misma función de almacenar temporalmente agua. Los bosques nativos registran valores mayores de captura de agua de niebla; aumentan el flujo de caída de las precipitaciones aunque muestran resultados heterogéneos en cuanto a intercepción de lluvia en el follaje según la heterogeneidad del dosel; y, aumentan el caudal anual al registrar menor escorrentía superficial y mayor capacidad de retención hídrica en comparación con pastizales y áreas cultivadas (Cerrón, del Castillo, Bonnesoeur, Peralvo, & Mathez-Stiefel, 2019).

Actualmente la protección de ecosistemas proveedores de agua está teniendo mayor atención desde las ciudades. En la región existen cada vez más mecanismos financieros para conservar las fuentes naturales. Los “fondos de agua” son utilizados como una medida que reconoce el rol de los ecosistemas en el aprovisionamiento de agua para las ciudades y traslada una parte de la recaudación hacia la inversión en la conservación y restauración de los ecosistemas proveedores. En este sentido muchas empresas proveedoras del servicio están explorando modelos de negocio que combinan lo gris y lo verde para salvaguardar el recurso hídrico en el largo plazo y ahorrar costos en la operación.

## IN para reducir el riesgo de desastres asociados al agua

Los riesgos de desastres relacionados con el agua, como las inundaciones y sequías asociadas a una creciente variabilidad temporal de los recursos hídricos debido al cambio climático, provocan pérdidas humanas y económicas inmensas y cada vez mayores a nivel mundial. Se calcula que alrededor del 30 % de la población mundial vive en áreas que sufren los efectos de inundaciones y sequías de manera habitual.

Las amenazas naturales son fenómenos que ocurren de manera natural, aunque su intensidad y frecuencia se pueden ver incrementadas por el cambio global. Las acciones humanas pueden reducir o aumentar la vulnerabilidad de la sociedad a dichos fenómenos, pero la degradación de los ecosistemas siempre incrementa el riesgo. Ecosistemas naturales bien gestionados pueden reducirlo y recuperarse rápidamente para seguir prestando beneficios a la sociedad (Monty, Radhika, & Furuta, 2016). La IN puede desempeñar funciones determinantes a la hora de reducir los riesgos y la vulnerabilidad de las comunidades. Combinando infraestructura verde y gris es posible conseguir una reducción de costos y mejorar sensiblemente la resiliencia frente al cambio climático.

Las SbN para la gestión de las inundaciones pueden incluir la retención del agua mediante la gestión de las infiltraciones y los flujos superficiales, mejorando la conectividad hidrológica entre los componentes del sistema y el transporte del agua a través del mismo, creando espacios para almacenar el agua mediante llanuras inundables. Por ejemplo, el concepto de “vivir con inundaciones”, que, entre otras cosas, incluye una serie de enfoques estructurales y no estructurales que ayudan a “estar preparados” para una inundación, puede facilitar la aplicación de IN para reducir las pérdidas debidas a las inundaciones, y lo que es más importante, los riesgos de inundación (WWAP, 2018).

Las sequías, por su parte, no están limitadas a las áreas secas, como se sugiere a veces, sino que también pueden suponer un riesgo de desastre en regiones que normalmente no se padece de escasez de agua. La combinación de SbN para mitigar la sequía es esencialmente la misma que para la disponibilidad de agua y apunta a mejorar la capacidad de almacenar agua en los paisajes, incluyendo los suelos y las aguas subterráneas, para amortiguar los períodos de extrema escasez. La variabilidad estacional de las precipitaciones crea oportunidades para almacenar agua en el paisaje con el fin de proporcionar agua tanto a los ecosistemas como a las personas durante los períodos más secos. El potencial de almacenamiento natural de agua (particularmente en el subsuelo, en los acuíferos) para reducir el riesgo de desastres está lejos de haber sido alcanzado. La planificación del almacenamiento a escala regional y de las cuencas fluviales debería tomar en consideración una cartera de opciones de almacenamiento superficiales y subterráneas (y sus combinaciones) para llegar a los mejores resultados ambientales y económicos frente a la creciente variabilidad de los recursos hídricos. (WWAP, 2018)

## Restauración ecológica para contribuir con la protección de servicios ecosistémicos

La protección de vegetación remanente de riberas; la restauración de cejas de montaña, la restauración de franjas de conectividad y la recuperación de áreas degradadas; son acciones básicas que contribuyen con la regulación de la calidad y cantidad de agua. Estas prácticas no pueden dejar de considerarse en los planes de manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

En agro-ecosistemas, la vegetación de ribera cumple un papel trascendental en la regulación de la calidad de agua, actuando como un filtro biológico para retener sedimentos y residuos de pesticidas y fertilizantes que bajan por la ladera y evitar que ingresen a los cursos de agua. Las líneas de cumbre o cejas de montaña se constituyen en áreas claves debido a su función primordial de captación, almacenamiento temporal y recarga de escurrimientos de base. Asimismo, las áreas degradadas pueden rehabilitarse con la finalidad de que formen parte integral del manejo del paisaje de la cuenca y se puedan recuperar los servicios ecosistémicos que ofrecen.

También se pueden considerar franjas horizontales en las laderas para conectar parches de bosques. Además de contribuir con la biodiversidad formando corredores biológicos, éstas actúan como barreras para retener sedimentos, residuos de pesticidas/fertilizantes y para estabilizar taludes, reduciendo la pérdida de suelos y el riesgo a movimiento en masa.

Las buenas prácticas forestales pueden tener protagonismo en la recuperación de la cobertura vegetal y de los suelos, como contribución al manejo de las cuencas hidrográficas y el aseguramiento de la provisión de servicios hidrológicos.

## Innovación en las prácticas productivas actuales

En las áreas que actualmente mantienen cultivos, se requiere innovar el manejo mediante la incorporación de técnicas agroforestales y agroecológicas modernas. La finalidad es construir un enfoque de “producir conservando”; es decir, mejorar la productividad actual incorporando, por un lado, plantaciones agroforestales como linderos, cercas vivas, cortinas de protección y zanjas para conservación de suelos; y, por otro lado, prácticas agroecológicas como la elaboración de abonos orgánicos y reciclaje de materia orgánica, mantenimiento de cultivos de cobertura, diversificación y rotación de cultivos, entre otros.



El mismo enfoque aplica para las áreas con actividades ganaderas, en donde, mínimamente, se deben incorporar técnicas para renovación de pastizales, manejo genético e incorporación de plantaciones silvopastoriles. Este mejoramiento de productividad permitiría concentrar los esfuerzos en áreas delimitadas de terreno, incrementando su rendimiento, al mismo tiempo que se disminuyen las presiones hacia los bosques y páramos.

Además, estas áreas productivas se verían beneficiadas con la regulación de cantidad y calidad de agua que genera la protección de los remanentes de bosques, páramos y la restauración de áreas estratégicas.

## Manejo forestal como una alternativa de IN

Algunas cuencas tienen plantaciones forestales que requieren manejo y buenas prácticas. Las plantaciones forestales con especies exóticas generan menor caudal que los páramos e interceptan menos precipitación que los bosques nativos; reducen los flujos de base, aumentan los flujos pico, registran menor infiltración y retención hídrica en comparación a bosques nativos y pastizales. No obstante, tienen escorrentías superficiales similares a los bosques nativos y menores que pastizales

para ganadería por lo que pueden reducir la erosión en áreas degradadas (Cerrón, del Castillo, Bonnesoeur, Peralvo, & Mathez-Stiefel, 2019).

Por ejemplo, las plantaciones de pino tienen efectos directos sobre la hidrología de las cuencas. Mucho más si se ubican en cejas de montaña o líneas de cumbre puesto que estas zonas se constituyen en receptoras o captadoras de precipitación para infiltrarla y alimentar los escurrimientos de base que duran semanas, meses y años en aparecer para formar las quebradas y ríos. De esta manera se regula la cantidad de agua, infiltrándola en los periodos de lluvia para que esté disponible en la época seca o de estiaje. Raleos de plantaciones con fines hidrológicos contribuyen a perder menos agua de intercepción y a recuperar la vegetación nativa, por la formación de microclimas. Se pueden generar planes de raleo secuencial para lograr esta transición (Yaguache, Cobo, & Yaguache, 2008).

Uno de los elementos a considerar para sugerir estas prácticas es la intercepción o interceptación de lluvia por las copas de los árboles. En las plantaciones de *Pinus radiata* puede estar en el rango de 18-39% (Myers & Talsma, 1992) mientras que en los bosques nativos puede fluctuar de 9 a 15 % en bosques nublados del sur del Ecuador (Motzer, Munz, Anhuf, & Küppers, 2008); y entre 8 y 30 % en bosques nublados montanos de la cordillera de Yanachaga en Los Andes centrales de Perú (Gómez-Peralta, Oberbauer, McClain, & Philippi, 2008).

Un análisis sobre el estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ecosistémicos hidrológicos generados en los Andes, realizado por Célleri (2010), destaca que a nivel de microcuencas en zonas de alta montaña, el rendimiento hídrico en una microcuenca con plantación de *Pinus patula* es un 50 % menor que el observado en una microcuenca sin plantaciones (Buytaert, 2006). Una plantación de pino de nueve años de edad puede alcanzar hasta el 69 % de evapotranspiración, frente al 34 % en pastizales (Cicco, 2011).

En tal virtud, se ve importante considerar el manejo de plantaciones a través de raleos con fines hidrológicos; es decir, ralear en bloques para permitir aclareos de tal forma que (Yaguache, Cobo, & Yaguache, 2008):

- En primer lugar, el agua de precipitación, que debía interceptarse y transpirarse en estos bloques, pasa directamente al suelo, dando paso a su infiltración para alimentar los escurrimientos subsuperficiales y de base, lo que significa un incremento en el rendimiento hídrico de la cuenca.
- En los bloques sin árboles al interior de la plantación, se forma un microclima favorable para el crecimiento de vegetación nativa, puesto que el pino resiste vientos y heladas y con ello el ambiente al interior de estos bloques es más abrigado en la noche y más fresco en el día.

Con esta propuesta, las plantaciones de pino ubicadas en las cejas de montaña, se pueden convertir en una oportunidad para la provisión de múltiples servicios ecosistémicos, más allá de la madera.

Se puede incrementar el rendimiento hídrico debido a la intercepción y transpiración evitada y, por otro lado, facilitar un proceso de sucesión hacia vegetación nativa.

A manera de resumen, en el siguiente cuadro se puede apreciar algunos ejemplos de prácticas que contribuyen a proteger o recuperar servicios ecosistémicos hidrológicos (Yaguache, Cobo, & Yaguache, 2008):

CRITERIO	USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO	PRÁCTICAS BÁSICAS	CONTRIBUCIÓN A LA PROTECCIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
Ecosistemas con funciones esenciales de la regulación de cantidad y calidad de agua	Páramos Bosques Matorrales Humedales	Protección de remanentes de bosques, páramos y matorrales	Almacenamiento temporal de agua, protección de biodiversidad, mitigación al cambio climático.
Restauración para contribuir con la protección de servicios ecosistémicos.	Áreas ribereñas	Protección y restauración de vegetación ribereña	Formación de filtros biológicos para mejorar calidad de agua: retención de sedimentos, incremento de oxígeno disuelto y disminución de temperatura del agua.
	Cejas de montaña o líneas de cumbre	Restauración de cejas de montaña	Recarga de flujos base para regulación de cantidad de agua. Recuperación de biodiversidad y conectividad.
	Áreas degradadas	Recuperación de áreas degradadas	Recuperación de vegetación para áreas de conservación o productivas.
	Laderas con uso agropecuario	Restauración de franjas de conectividad	Formación de una barrera natural para control de erosión, estabilización de taludes, conectar parches de bosque y aportar con otros beneficios complementarios (sombra, forraje).
Innovar las prácticas productivas.	Cultivos Pastizales	Innovación de prácticas agropecuarias: manejo de prácticas agroforestales y agroecológicas	Mejorar la productividad y estabilidad de sistemas productivos.
Manejo Forestal	Plantaciones forestales	Manejo de plantaciones forestales con fines hidrológicos	Incremento de infiltración (disponibilidad de agua), recuperación de biodiversidad.

CUADRO 6: PRÁCTICAS DE MANEJO DE ECOSISTEMAS PARA PROTECCIÓN DE SERVICIOS HIDROLÓGICOS

## La infraestructura natural en las ciudades

El espacio urbano tiene características biofísicas particulares si lo comparamos con las áreas rurales que lo rodean. Estas características incluyen procesos de intercambio de energía alterados que crean un efecto de isla de calor y cambios importantes a la hidrología debido a la alta escorrentía producto de las superficies impermeables. Estos factores, en parte, son el resultado de la cobertura natural alterada en una zona urbana. Por ejemplo, las superficies con menos presencia de

vegetación producen una disminución en el efecto de enfriamiento por evaporación y la sombra provista por los árboles. El concreto y el asfalto también tienden a capturar el calor, elevando considerablemente la temperatura dentro de zonas urbanas. Una superficie cubierta de vegetación también ayuda a retener y retrasar la escorrentía en episodios de lluvias extremas, por el contrario, los techos impermeables y superficies asfálticas aceleran la escorrentía y generan un problema serio cuando los sistemas de alcantarillado y drenaje no pueden abastecer la carga de agua lluvia. Está claro que el cambio climático solo exacerbará estos fenómenos climáticos extremos y es allí donde la IN puede jugar un rol clave en complementar los sistemas urbanos y ofrecer una alternativa costo-efectiva para reducir los efectos de estos fenómenos.

En el contexto urbano, La IN se utiliza cada vez más para gestionar y reducir la contaminación provocada por la escorrentía urbana. Los ejemplos incluyen muros verdes, jardines en los techos y cuencas de infiltración o drenaje cubiertas de vegetación para contribuir al tratamiento de las aguas residuales y reducir la escorrentía de las aguas pluviales. También se utilizan los humedales en entornos urbanos para mitigar el impacto de la escorrentía de las aguas pluviales y las aguas residuales contaminadas. Los humedales, tanto naturales como construidos, también contribuyen a la biodegradación o inmovilización de toda una gama de contaminantes emergentes, incluidos ciertos productos farmacéuticos, y a menudo funcionan mejor que las soluciones grises. Para ciertos productos químicos pueden ser la única solución (WWAP, 2018).

Existen límites a la forma en que pueden funcionar las SbN. Por ejemplo, las opciones que ofrece a IN para el tratamiento de las aguas residuales industriales dependen del tipo de contaminante y de la cantidad que contengan. Para muchas fuentes de agua contaminada, puede seguir siendo necesario adoptar soluciones de infraestructura gris. Sin embargo, las aplicaciones industriales de IN, en particular los humedales construidos para el tratamiento de las aguas residuales industriales, están aumentando.

## EL CASO DEL FONDO DE AGUA DE QUITO

En Ecuador, un estudio realizado por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento del Distrito Metropolitano de Quito (EPMAPS) y el Fondo para la Protección del Agua de Quito (FONAG); presenta la rentabilidad financiera y económica de la inversión en protección de fuentes de agua. Se analizó el caudal disponible en dos cuencas de acción del Fondo, en escenario con y sin intervención de acciones de recuperación de ecosistemas degradados. El objetivo final era estimar el rendimiento hídrico producto de la conservación del ecosistema páramo. El caudal disponible para operación al año 2040, producto de reducción de pérdidas por la conservación de páramo por parte del FONAG es de 523 l/s. En términos sociales, este resultado permite que al año 2040, alrededor de 235.000 habitantes de Quito accedan al servicio de agua potable. Se realizó el análisis de flujo financiero como proyección de ingresos futuros para EPMAPS producto del rendimiento hídrico asegurado. Al aplicar una tasa referencial, proporcionó un valor

actual neto (VAN) de 12,2 millones de dólares y una tasa interna de retorno (TIR) del 7,14%, lo que representa una tasa competitiva en el mercado actual ecuatoriano. (Osorio, y otros, 2018).

## Mensajes Clave

- La planificación hídrica debe instrumentalizar y plasmar el rol de la IN como parte del abordaje a las problemáticas de gestión del agua. Es necesario reconocer que los servicios ecosistémicos hídricos son un elemento fundamental en todos los proyectos de inversión vinculados al agua. Todas las inversiones que se han hecho en infraestructura hidráulica dependen del buen funcionamiento de los ecosistemas reguladores del ciclo hidrológico.
- Sostener la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas es fundamental para materializar la visión de un mundo con seguridad hídrica. La pérdida de los ecosistemas asociados al agua no es reemplazable (no hay tecnología ni recursos para reemplazar estos ecosistemas).
- La gestión del agua no depende únicamente de la infraestructura gris, si no que a su vez depende del buen funcionamiento de los ecosistemas. Los ecosistemas proveedores de servicios deben ser identificados como activos potenciales en la cadena de valor de un sistema de infraestructura gris.

Existen co-beneficios relacionados a la IN que van más allá de la gestión del agua. La adopción de IN hídrica no solo es necesaria para mejorar los resultados de la gestión del agua y lograr la seguridad hídrica, también es fundamental para garantizar la prestación de beneficios colaterales que son esenciales para todos los aspectos del desarrollo sostenible.

- Las medidas de IN pueden ser más costo efectivas que la construcción de infraestructura gris únicamente. Es necesario mejorar la base de evidencia científica sobre la IN y los sistemas combinados, así como las metodologías de valoración integral de su aplicación y costo-efectividad.
- La IN contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, en donde se garantiza la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- El conocimiento tradicional o de la comunidad local sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la interacción naturaleza-sociedad puede ser un activo importante. Es preciso mejorar la incorporación de este conocimiento a las evaluaciones y la toma de decisiones.

# ANEXO 1: Las Soluciones Basadas en la Naturaleza

## Definición de las SbN

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se definen como acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados para abordar los desafíos de la sociedad eficientemente y de manera adaptable, promoviendo simultáneamente el bienestar humano y beneficios para la biodiversidad (Cohen-Shacham, 2016).

Versiones diferentes de este concepto se han utilizado durante varias décadas. Sin embargo, su utilización se ha expandido en la medida en que crece la búsqueda de soluciones para *trabajar con los ecosistemas en lugar de depender únicamente de las intervenciones de ingeniería convencional* para adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático, mejorar los medios de vida sostenibles y proteger los ecosistemas naturales y la biodiversidad (Mittermeier, 2008).

Algunos enfoques de SbN incluyen:

- Enfoques de **restauración de ecosistemas**, por ejemplo, restauración ecológica, ingeniería ecológica, y restauración del paisaje forestal (o restauración a escala de paisaje);
- Enfoques para **resolver problemas específicos basados en ecosistemas**, por ejemplo, Adaptación basada en Ecosistemas, Mitigación basada en Ecosistemas, y Reducción de Riesgos de Desastres basado en Ecosistemas.
- Enfoques relacionados con la **infraestructura**, por ejemplo, infraestructura natural y verde;
- Enfoques basados en la **gestión de ecosistemas**, por ejemplo, gestión integrada de zonas costeras y gestión integrada de recursos hídricos; y
- Enfoques basados en la **protección de ecosistemas**, por ejemplo, gestión de áreas protegidas.

## Objetivo de las SbN

El objetivo de las soluciones basadas en la naturaleza es "apoyar la consecución de los objetivos de desarrollo de la sociedad y salvaguardar el bienestar humano de un modo que refleje los valores culturales y sociales y fortalezca la resiliencia de los ecosistemas y su capacidad de renovarse y prestar servicios; las soluciones basadas en la naturaleza están diseñadas para hacer frente a los grandes retos de la sociedad, como la seguridad alimentaria, el cambio climático, la seguridad del agua, la salud humana, el riesgo de desastres y el desarrollo social y económico".

## Principios de las SbN

Las Sbn:

- I. Adoptan las normas y principios de la conservación de la naturaleza;
- II. Se pueden implementar de forma autónoma o integrada con otras soluciones a retos de la sociedad (por ejemplo, soluciones tecnológicas y de ingeniería);
- III. Vienen determinadas por contextos naturales y culturales específicos de los sitios, que incluyen conocimientos tradicionales, locales y científicos;
- IV. Aportan beneficios sociales de un modo justo y equitativo que promueve la transparencia y una participación amplia;
- V. Mantienen la diversidad biológica y cultural y la capacidad de los ecosistemas de evolucionar con el tiempo;
- VI. Se aplican a escala de un paisaje;
- VII. Reconocen y abordan las compensaciones entre la obtención de unos pocos beneficios económicos para el desarrollo inmediatos y las opciones futuras para la producción de la gama completa de servicios de los ecosistemas; y
- VIII. Forman parte integrante del diseño general de las políticas y medidas o acciones encaminadas a hacer frente un reto concreto de la sociedad.

## FUENTES

- Bruijnzeel, L. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104.
- Buytaert, W. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth Science Reviews*, vol.79, n.o 1-2.
- CDB. (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Montreal. Montreal, Canada: Convention of Biological Diversity - CBD Technical Series No. 41. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-41-en.pdf>
- Célleri, R. (2010). Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en Los Andes. In M. (. Quintero, *Servicios ambientales hidrológicos en la Región Andina, estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales*. Lima - Perú: Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CODESAN).
- Cerrón, J., del Castillo, J., Bonnesoeur, V., Peralvo, M., & Mathez-Stiefel, S. (2019). *Relación entre árboles, cobertura y uso de la tierra y servicios hidrológicos e los Andes Tropicales: Una síntesis del conocimiento*. Occasional Paper No 42. Lima - Perú: Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF) Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina (CONDESAN). doi:[https://condesan.org/wp-content/uploads/2019/09/20190918\\_Arboles\\_agua\\_Andes\\_Imprenta.pdf](https://condesan.org/wp-content/uploads/2019/09/20190918_Arboles_agua_Andes_Imprenta.pdf)
- Cicco, V. (2011). *Manejo florestal e producao hídrica. Impacto do manejo florestal*. Brasil: Instituto Florestal de Sao Paulo.
- Cohen-Shacham, E. W. (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN. Retrieved octubre 2019, from <https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions>
- Daily, C. (1997). *Nature's services: Societal dependence on ecosystem services*. Washington, DC: Island Press.
- Díaz, E., & Paz, L. (2002). Evaluación del régimen de humedad del suelo bajo diferentes sistemas de uso en los páramos de "Las Animas y Piedra de León". Departamento del Cauca. *Memorias del Congreso Mundial de Páramos. Estrategias para la conservación y sostenibilidad de sus bienes y servicios ambientales*. Piapa, Boyacá.
- Faustino, J. (1986). Metodología para priorización de cuencas, subcuencas y microcuencas en conservación de suelos y aguas. *Seminario taller "Metodologías de priorización de cuencas"* (pp. 35-44). Ciudad de Panamá. PN.: Proyecto Regional de Manejo de Cuencas. CATIE.
- Gómez-Peralta, D., Oberbauer, S., McClain, M., & Philippi, T. (2008). Rainfall and cloud- water interception in tropical montane forests in the eastern Andes of Central Peru. *Forest Ecology and Management* 255, 1315–1325.
- Guillén, R., Faustino, J., Velázquez, S., & Solís, H. (2004). *Modelación del uso de la tierra para orientar el ordenamiento territorial en la subcuenca del Río Copán, Honduras*.
- Hincapié, J., & Lema, A. (s/f.). *Determinación espacial de áreas de importancia estratégica de microcuencas abastecedoras de acueductos veredales del municipio de Medellín*. Colombia: Escuela de Postgrado en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Colombia.

- IDEAM. (2002). *Criterios y parámetros para la clasificación y priorización con fines de ordenación de cuencas hidrográficas en Colombia*. Bogotá - Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
- MEA. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Mittermeier, R. A. (2008). *Climate for Life*. Washington, DC - USA: Conservation International.
- Monty, F., Radhika, M., & Furuta, N. (2016). *Helping Nature Help Us: Transforming Disaster Risk Reduction through ecosystem management*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Motzer, T., Munz, D., Anhuf, D., & Küppers, M. (2008). Transpiration and microclimate of a tropical montane forest in southern Ecuador. *Second International Symposium Mountains in the Mist: Science for conserving and managing tropical montane cloud forest (July 27-31, 2008)*. Waimea, Hawaii: Hawaii Preparatory Academy (HPA).
- Myers, B., & Talsma, T. (1992). Site water balance and tree water status in irrigated and fertilised stands of *Pinus radiata*. *Forest Ecology and Management* 52(1), 17-42.
- Osorio, R., Ruiz, R., Lloret, P., Gallegos, L., De Bièvre, B., Vera, A., & Muñoz, T. (2018). *Análisis de la Rentabilidad de la inversión en protección de cuencas. El caso de Quito*. Quito - Ecuador: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento del Distrito Metropolitano de Quito (EPMAPS).
- Sánchez, K., Piedra, J. M., & Galloway, J. G. (No. 41 - 2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Revista Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)*, 88-95.
- Tobón, C. (2009, mayo). Los bosques andinos y el agua. (C. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, Ed.) *Serie investigación y sistematización #4*.
- WWAP. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) / ONU Agua. París, Francia: UNESCO. Retrieved octubre 2019, from [http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/?utm\\_source=IWA-NETWORK&utm\\_campaign=225734ad48-EMAIL\\_CAMPAGN\\_2018\\_03\\_15&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_c457ab9803-225734ad48-158989237](http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/?utm_source=IWA-NETWORK&utm_campaign=225734ad48-EMAIL_CAMPAGN_2018_03_15&utm_medium=email&utm_term=0_c457ab9803-225734ad48-158989237)
- Yaguache, R., Cobo, E., & Yaguache, L. (2008). *¿Cómo priorizar acciones de protección de servicios ecosistémicos hidrológicos en una cuenca? El caso de la cuenca transfronteriza Catamayo - Chira*. Quito - Ecuador: UICN - Sur.