

# Los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales y un marco propuesto para evaluarlos

Anna McMurray, Felipe Casarim, Blanca Bernal, Timothy Pearson, y Gabriel Sidman

2017









### 1 Contenidos

1 Int	troduccióntroducción	3
2 Ti <sub>l</sub>	pos de servicios ecosistémicos	4
3 De	escripción general de los servicios ecosistémicos	5
3.1	Servicios y perjuicios ecosistémicos proporcionados por los bosques tropicales nativos	5
3.1.2	Servicios de aprovisionamiento Servicios de regulación Servicios culturales	8
3.1.3	Servicios culturales	10
3.2	Análisis sobre los servicios ecosistémicos proporcionados por las plantaciones de árboles y por los	
sistema	s agroforestales	10
3.2.1	s agroforestales Perjuicios de las plantaciones forestales	11
3.3	Los bosques colombianos y los servicios ecosistémicos que brindan	12
4 M	arco conceptual para las evaluaciones de los servicios ecosistémicos	12
4.1	Pasos del marco de evaluación	14
5 Eje	emplos de indicadores para diferentes servicios ecosistémicos	17
6 Co	onclusiones	22
	ferencias	

Winrock reconoce con gratitud el apoyo del Gobierno de la República Federal de Alemania en el marco de la Iniciativa climática internacional.

On behalf of:



of the Federal Republic of Germany



### 1 Introducción

Los ecosistemas naturales, tales como bosques, praderas y ecosistemas marinos, les brindan una variedad de beneficios a los seres humanos. Estos beneficios para los seres humanos se conocen comúnmente como servicios ecosistémicos. Muchos de estos servicios ecosistémicos no son reconocidos ni valorados debidamente por la sociedad, lo cual lleva a un manejo inadecuado, a la degradación y a la destrucción de los ecosistemas y de los servicios que brindan los ecosistemas. Costanza et al (2014) estimaron que el cambio en el uso de la tierra (que generalmente implica la pérdida de ecosistemas naturales) ha llevado a una pérdida global de servicios ecosistémicos valorada en US \$ 3-20. 2 billones por año. Un paso clave para revertir el daño causado a los ecosistemas y para prevenir el daño futuro a los ecosistemas es reconocer la importancia de los servicios mencionados y evaluar cómo los están afectando las diferentes prácticas de manejo.

El Gobierno de Colombia se encuentra actualmente en el proceso de desarrollo de una acción de mitigación apropiada a nivel nacional (NAMA, por sus siglas en inglés) que se centra en la reforestación y en la restauración forestal. Esta NAMA reconoce explícitamente un servicio ecosistémico: la capacidad de los bosques para capturar el carbono de la atmósfera, ayudando de este modo a mitigar el cambio climático. No obstante, las áreas recientemente reforestadas o los bosques restaurados pueden asimismo brindar otros servicios ecosistémicos. Identificar y valorar estos servicios podría ayudar a reforzar el caso para implementar esta NAMA y crear conciencia sobre la importancia de restaurar los bosques y reforestar.

Durante las reuniones entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (en adelante denominado MADS) y Winrock International (en adelante denominado Winrock), MADS solicitó apoyo para evaluar los beneficios del servicio ecosistémico que la restauración forestal y la reforestación podrían producir. En particular, solicitaron que Winrock ayudara a identificar los diferentes servicios potenciales de los ecosistemas que derivan de las acciones mencionadas, así como una lista de indicadores – biofísicos y, de ser posible, socioeconómicos – que podrían usar para medir estos servicios. Si bien este sería un paso importante para evaluar los beneficios de las diferentes acciones, se necesitan evaluaciones más profundas para identificar y posiblemente cuantificar los *beneficios y los daños de las acciones actuales y potenciales específicos del sitio*.

Este documento presenta una descripción general de los servicios ecosistémicos que brindan los bosques tropicales. Asimismo, se introduce un marco conceptual que los diseñadores e implementadores de la NAMA forestal pueden aplicar para identificar sistemáticamente los cambios en los servicios ecosistémicos en áreas geográficas de interés como resultado de las acciones de manejo (por ejemplo, la reforestación de X hectáreas). En base a este marco propuesto, se presenta una lista de indicadores biofísicos y socioeconómicos para cada potencial servicio ecosistémico que brindan los bosques tropicales.





## 2 Tipos de servicios ecosistémicos

Uno de los sistemas de clasificación más utilizados en general, lo proporciona la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés) (2005), la cual identifica cuatro categorías diferentes de servicios ecosistémicos:

- 1. **Los servicios de aprovisionamiento** son los productos tangibles que los seres humanos reciben del ecosistema, tales como la madera, el agua y los alimentos.
- 2. **Los servicios de regulación** derivan de la regulación de los procesos ecosistémicos, tales como la regulación del clima, la hidrología y ciertas enfermedades.
- 3. **Los servicios culturales** son los beneficios no materiales que las personas obtienen para los ecosistemas, incluyendo la recreación, la experiencia estética, el enriquecimiento espiritual y demás.
- 4. **Los servicios esenciales** son la base para la producción de todos los otros tipos de servicios. Los ejemplos de servicios de apoyo incluyen la producción primaria, la formación y retención de suelos, el ciclo de nutrientes y demás.

La Figura 1 muestra la relación entre las cuatro clasificaciones mencionadas.

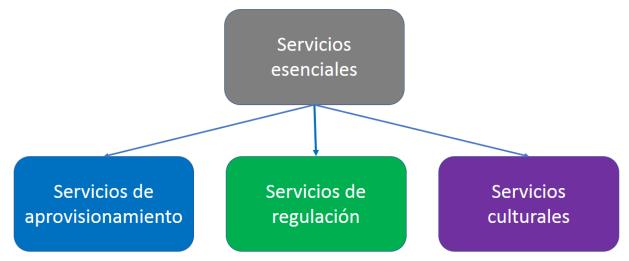


Figura 1. Cuatro clases de servicios ecosistémicos (modificados de la Figura A en MEA (2005))

Debido al uso generalizado de este sistema de clasificación y a la relativa facilidad de comprensión de los conceptos frente a otros sistemas de clasificación¹, en este documento se aplica la clasificación de MEA. No obstante, dado que los servicios de apoyo son los insumos para todos los demás servicios, solo se consideran los servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales para evitar un doble recuento.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Se ha propuesto una variedad de sistemas de clasificación de servicios ecosistémicos como se analizó en Fisher et al (2009).



## 3 Descripción general de los servicios ecosistémicos

# 3.1 Servicios y perjuicios ecosistémicos proporcionados por los bosques tropicales nativos

En 2014, el Centro para el Desarrollo Global (CGD, por sus siglas en inglés) redactó un informe en el cual se analizaban los diferentes servicios ecosistémicos que los bosques tropicales pueden proporcionar (Brandon, 2014). Los hallazgos de este informe se resumen aquí y se amplían cuando sea necesario. Si bien el informe de CGD se centra en el servicio de aprovisionamiento y de regulación, nosotros presentamos asimismo diferentes servicios culturales. Esta lista pretende ser lo más completa posible, aunque los autores reconocen que podría haber servicios adicionales que brindan los bosques tropicales.

No todos los bosques tropicales ofrecen todos los servicios que se enumeran a continuación. La existencia de los servicios mencionados depende de las circunstancias biofísicas y sociales particulares en un área forestal determinada y del área afectada. Asimismo, algunas áreas brindan mayores beneficios de ciertos servicios que otras áreas.

Es importante mencionar que la creación de bosques puede llevar a perjuicios ambientales. Asimismo, analizamos los perjuicios en las siguientes secciones. Los cambios en los servicios y perjuicios ecosistémicos dependerán de las acciones humanas específicas (por ejemplo, la reforestación, la regeneración forestal, la tala selectiva y demás).

### 3.1.1 Servicios de aprovisionamiento





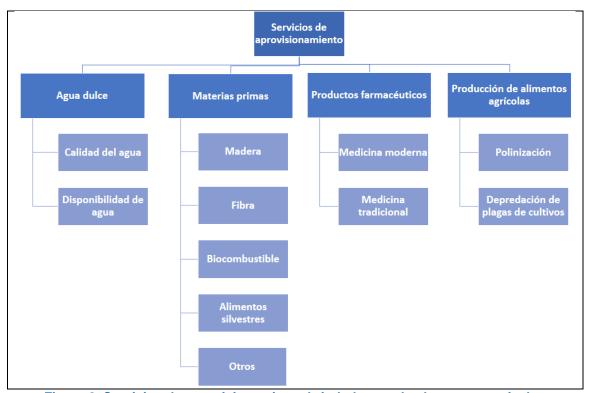


Figura 2. Servicios de aprovisionamiento brindados por los bosques tropicales

- **Agua dulce**: el bosque desempeña un papel importante en el mantenimiento y la mejora de la calidad del agua y la regulación del flujo de agua para uso humano.
  - Calidad del agua Los bosques saludables ayudan a prevenir la contaminación de los cuerpos de agua cercanos al evitar la erosión y la escorrentía que contiene una variedad de contaminantes como el exceso de nutrientes de los fertilizantes agrícolas, metales pesados y patógenos. Asimismo, eliminan los contaminantes del agua que fluye a través de ellos y se infiltran en los acuíferos. Finalmente, los árboles y otras plantas eliminan los contaminantes del agua que regresan a la atmósfera a través de la transpiración.
  - **Disponibilidad de agua**–En comparación con otros usos de la tierra, los bosques pueden aumentar o disminuir la disponibilidad de agua. Se ha demostrado que los bosques retienen agua y la liberan lentamente durante las estaciones secas, de este modo mitigan los impactos provocados por la escasez de agua. También, los bosques nublados pueden interceptar una cantidad significativa de agua proveniente de la niebla, aumentando de este modo el flujo de agua superficial y la infiltración de aguas subterráneas. Este servicio no solo es vital para el consumo humano directo, sino también para las represas hidroeléctricas aguas abajo y sistemas de riego agrícola. Sin embargo, Filoso et al (2017) descubrieron que los proyectos de restauración forestal pueden reducir los rendimientos

On behalf of:



of the Federal Republic of Germany



hídricos, el caudal base y los niveles de agua subterránea después de las intervenciones, aunque pocos proyectos analizados se centraron en especies nativas o en estudios realizados a gran escala geográfica y en general.

No obstante, debido a que la cobertura arbórea aumenta la infiltración del suelo, los bosques pueden aumentar la recarga de agua subterránea a largo plazo.

Finalmente, los bosques reducen la erosión y, como resultado, reducen los índices de sedimentación en los cuerpos de agua corriente abajo, lo cual mejora la capacidad de almacenamiento de los embalses para el consumo humano y para las represas hidroeléctricas y mejora asimismo el funcionamiento de los canales de navegación y de los sistemas de riego.

#### - Materias primas

- Los bosques son una fuente primaria de **madera**, **fibra** y **biocombustible** (por ejemplo, leña y carbón), todos los cuales desempeñan papeles fundamentales en las comunidades locales y en el caso de la madera y de la fibra (es decir, la pulpa y el papel) son productos mundiales importantes.
- Los bosques son la fuente de una amplia variedad de **alimentos silvestres**, que incluyen plantas, nueces, frutas y carne para las personas. Estos alimentos silvestres son alimentos básicos en las comunidades más pobres que dependen del bosque. Asimismo, los bosques desempeñan un papel fundamental en la salud de las pesquerías de agua dulce, de estuario y marinas a través de una serie de mecanismos. Los bosques ribereños ayudan a reducir la sedimentación, a filtrar los contaminantes y a mantener la temperatura del agua, lo cual beneficia a las **pesquerías** cercanas y aguas abajo. La hojarasca y las semillas pueden asimismo constituir una fuente de alimento para los peces o servir como hábitat para los alimentos (diferentes macro invertebrados) para los peces. Finalmente, los bosques de mangle sirven como importantes criaderos para la pesca marítima.
- Existe una cantidad de otros productos forestales, incluyendo a las hojas de palmera, resinas, aceites, tintes, cortezas y demás que son importantes para las comunidades locales, por ejemplo, para hacer manualidades y artesanías que sirven como una fuente de ingresos importante y en los mercados mundiales.
- **Productos farmacéuticos:** las plantas y los animales en los bosques tropicales han servido como fuentes clave para el desarrollo de la medicina moderna. Según Robinson y Zhang (2011), un cuarto de toda la medicina moderna proviene de plantas medicinales o de compuestos sintéticos basados en las propiedades químicas de estas plantas.
- **Producción de alimentos agrícolas:** los bosques tropicales juegan un papel importante en los sistemas de producción agrícola.





- Sirven como hábitat para especies que son polinizadores importantes, tales como las abejas, polillas, murciélagos, moscas, roedores y demás para la producción de cultivos comerciales y domésticos.
- Asimismo, pueden servir como hábitat para depredadores y parasitoides, como aves y murciélagos, de plagas de cultivos.

### 3.1.2 Servicios de regulación

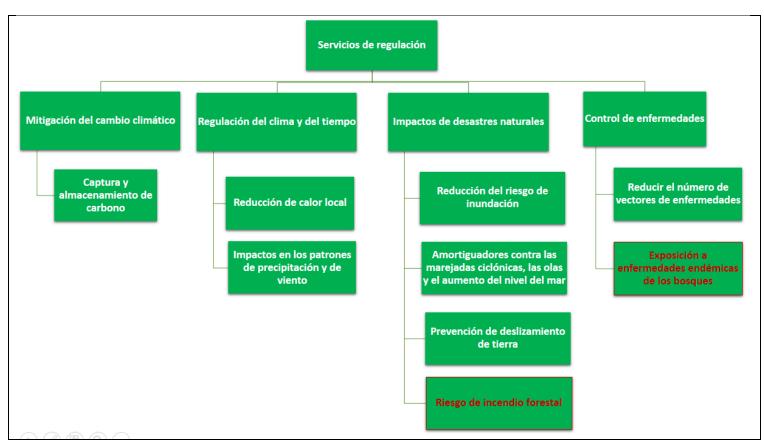


Figura 3. Servicios de regulación brindados por los bosques tropicales

Las casillas resaltadas en rojo indican que el bosque puede proporcionar más daños que beneficios con respecto a este servicio en comparación c otros usos de la tierra.

- **Mitigación del cambio climático**: los árboles y otras plantas en los bosques capturan y almacenan los gases de efecto invernadero a través de la producción primaria, mejorando así el cambio climático.

On behalf of:





- **Regulación del tiempo y del clima:** a través de la evapotranspiración, los bosques le devuelven humedad a la atmósfera, lo que produce nubes y reduce el calor en las áreas cercanas. El proceso de evapotranspiración de tantos árboles también influye en los patrones de precipitación y de viento y en el ciclo general del calor y la humedad a escalas local, regional y global.
- **Impactos en desastres naturales:** Los bosques tropicales participan en la reducción de la intensidad, duración y frecuencia de diferentes desastres naturales.
  - Los bosques reducen el riesgo de inundaciones al ralentizar el flujo de agua a ríos y arroyos, lo que a su vez provoca que una mayor proporción de precipitación sea absorbida por los árboles y por otra vegetación y vuelva a la atmósfera a través de la evapotranspiración o se almacene en el suelo a través de la infiltración del suelo. Asimismo, los bosques ayudan a evitar que los cuerpos de agua aguas abajo se llenen de sedimentos y desborden, al reducir la erosión.
  - Los bosques costeros sirven como amortiguadores para mitigar las marejadas ciclónicas y las olas costeras, ya que los árboles reducen la energía de las mareas y de las olas.
  - Los bosques costeros también son amortiguadores contra el aumento del nivel del mar al mantener y mejorar las elevaciones costeras al atrapar los sedimentos y acrecentar la turba.
  - Los bosques también ayudan a prevenir los deslizamientos de tierra en áreas montañosas, ya que los sistemas de raíces forestales anclan el suelo y promueven la infiltración de agua en lugar de la escorrentía. Los bosques también eliminan el exceso de agua a través de la evapotranspiración.
     Además, los bosques mejoran la estructura del suelo, aumentando la resiliencia contra la amenaza de deslizamientos de tierra.
  - La presencia de bosques puede aumentar los incendios forestales en comparación con otros usos de la tierra debido a la mayor presencia de biocombustibles. En general, no es probable que los bosques tropicales intactos ardan, en comparación con los bosques degradados y fragmentados debido a los altos niveles de humedad y a los doseles cerrados en los bosques húmedos y mojados y la tolerancia al fuego en los bosques secos. Los incendios forestales son mucho más comunes en los bosques tropicales que han experimentado un alto grado de degradación y fragmentación debido a la reducción de la cobertura del dosel y a la evapotranspiración, la presencia de especies invasoras con más probabilidad de quemarse y el aumento de los bordes del bosque que tienden a ser más secos (Armenteras, González, y Retana, 2013; Brooks et al, 2004).
- **Control de enfermedades**: los bosques tropicales tienen un efecto mixto sobre la transmisión de enfermedades.
  - Pueden ayudar a reducir el número de vectores de enfermedades, como la malaria, la esquistosomiasis, el virus del oeste del Nilo, el hantavirus, entre otros. Las razones exactas de esto





dependen del vector en cuestión, pero las razones principales incluyen un mayor número de depredadores y competidores. En el caso de la malaria, las temperaturas más frescas (a diferencia de las áreas deforestadas) llevan a índices de maduración más lentos en los mosquitos.

 No obstante, las personas pueden estar expuestas a enfermedades en estos bosques. La fiebre amarilla, por ejemplo, es endémica de los bosques. El consumo de animales del bosque ha llevado a la propagación de enfermedades como el Ébola y el VIH / SIDA, entre otros.

### 3.1.3 Servicios culturales



Figura 4. Servicios culturales proporcionados por los bosques tropicales

- Turismo y recreación: personas de todo el mundo viajan para experimentar los bosques tropicales y
  participar de una serie de actividades recreativas, como el senderismo, kayak, observación de vida silvestre,
  caza, entre otros. Este turismo constituye una fuente importante de ingresos y de empleo para las comunidades
  locales.
- **Experiencia estética:** esto incluye la apreciación del hermoso paisaje que brindan los bosques tropicales.
- **Enriquecimiento espiritual y religioso:** los bosques tropicales constituyen una fuente de experiencia espiritual y religiosa para muchas personas y comunidades de personas.
- **Bienestar y sentido del lugar:** visitar o estar en bosques tropicales puede promover el bienestar mental en muchas personas y promover asimismo un sentido de pertenencia.
- **Valor de existencia:** muchas personas valoran los ecosistemas naturales, incluidos los bosques tropicales, y las especies que viven en ellos, aunque nunca planeen visitar estos ecosistemas ni ver las especies. En otras palabras, se sienten complacidos simplemente al saber que existen estos bosques y especies.
- 3.2 Análisis sobre los servicios ecosistémicos proporcionados por las plantaciones de árboles y por los sistemas agroforestales

On behalf of:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany



Las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales brindan algunos de los mismos servicios ecosistémicos que brindan los bosques tropicales nativos, especialmente cuando se establecen en un paisaje previamente degradado y no nativo.

Proporcionan materias primas vitales, como la madera y la fibra, así como productos agrícolas. Asimismo, ayudan a mitigar el cambio climático al capturar carbono de la atmósfera. Debido a que las plantaciones y los sistemas agroforestales se establecen y se mantienen con el fin de maximizar la producción de los bienes mencionados, es mucho más fácil cuantificar los beneficios de estos servicios en comparación con los beneficios de los bosques nativos cuyo único propósito no es la producción de los bienes mencionados.

En comparación con los paisajes degradados y no nativos, las plantaciones y los sistemas agroforestales también pueden ser hábitat de diferentes especies y, por lo tanto, brindar servicios relacionados con la biodiversidad, tales como la polinización, la depredación de plagas y una variedad de servicios culturales diferentes. Pueden ayudar a mitigar los desastres naturales, tales como inundaciones, deslizamientos de tierra, marejadas ciclónicas y olas y el aumento del nivel del mar. Es probable que estos beneficios de biodiversidad y los servicios de mitigación de desastres naturales que brindan las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales no sean tan altos como los beneficios que brindan los bosques tropicales nativos.

### 3.2.1 Perjuicios de las plantaciones forestales

Debido a que las plantaciones forestales generalmente solo están formadas por una especie de árbol que muchas veces no es nativa, pueden ocasionar problemas adicionales o a perjuicios. Las plantaciones de árboles son mucho más propensas a incendiarse que los bosques nativos, ya que tienden a ser más secas y tienen más espacios abiertos que llevan a la propagación de incendios. El hecho de que la mayoría carece de diversidad de especies (de hecho, muchas son monocultivos) y puede estar compuestas por especies no nativas altamente combustibles, tales como la especie de Eucaliptus, empeora la amenaza de incendios. Asimismo, la falta de diversidad hace que las plantaciones de árboles sean vulnerables a las amenazas. Además, se ha demostrado que las plantaciones de árboles reducen el rendimiento hídrico, especialmente cuando se siembran en superficies sin árboles (forestación frente a reforestación) (Jobbágy, Baldi, y Nosetto, 2011).

Con respecto a los servicios de calidad del agua, las plantaciones de árboles pueden tener efectos mixtos. Al igual que con los bosques nativos, la presencia de árboles puede ayudar a prevenir la erosión, a eliminar los contaminantes a través de la infiltración del agua subterránea y de la transpiración. Por otro lado, la preparación de la plantación y la recolección regular de árboles puede llevar a una mayor erosión. Asimismo, las plantaciones de árboles pueden contribuir a la contaminación del agua mediante la aplicación de fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo que a su vez desembocan en cuerpos de agua cercanos.

On behalf of:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany



### 3.3 Los bosques colombianos y los servicios ecosistémicos que brindan

Los bosques en Colombia son bien conocidos por sus altos niveles de biodiversidad y los servicios ecosistémicos generales que brindan (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014). No obstante, ha habido pocos estudios para evaluar específicamente estos servicios ecosistémicos forestales. Por ejemplo, en el Amazonas colombiano, Ramirez-Gomez et al (2015) descubrieron que la demanda ha aumentado para los servicios de aprovisionamiento forestal de alimentos silvestres y materias primas debido a factores socioeconómicos como el cambio en las prácticas de subsistencia y en los patrones de consumo. Vilardy et al (2011) evaluaron los servicios ecosistémicos que brinda la Ciénaga Grande de Santa Marta, un sistema de pantanos costeros que incluye bosques de mangle, en la costa del Caribe. Entre los servicios más importantes identificados como vulnerables a la degradación ambiental figura el papel de los manglares como criaderos de peces.

El país está tomando medidas para incorporar la contabilidad de los servicios ecosistémicos a la formulación de políticas nacionales. Asimismo, Colombia es socia en la Contabilidad de la Riqueza y la Valoración de los Servicios de los Ecosistemas (WAVES, por sus siglas en inglés) liderada por el Banco Mundial, diseñada para integrar la contabilidad de los recursos naturales en el desarrollo y en la planificación económica. Esto incluye el trabajo para establecer cuentas nacionales y subnacionales para evaluar los activos hídricos, las existencias forestales y la disponibilidad de madera (WAVES, 2016). No obstante, se requiere más trabajo en la evaluación de diferentes servicios ecosistémicos para obtener un mejor contexto de la contribución de los bosques colombianos al bienestar de los seres humanos y cómo las diferentes actividades relacionadas con los bosques podrían afectar los servicios ecosistémicos a nivel local, regional y nacional.

# 4 Marco conceptual para las evaluaciones de los servicios ecosistémicos

Como se mencionó anteriormente, no todos los bosques brindan todos los servicios ecosistémicos (y los perjuicios) en la misma medida analizada en la Sección 3. Por ejemplo, es probable que un bosque cercano a una ciudad proporcione más servicios recreativos que un bosque equivalente lejos de la ciudad. Del mismo modo, un bosque costero proporcionará más protección contra las tormentas costeras que un bosque interno. Para evaluar debidamente los servicios ecosistémicos producidos por la reforestación y por la regeneración natural en un sitio determinado, sería necesario vincular los cambios ecológicos en el área geográfica de interés con los cambios en los beneficios o daños sociales de manera explícita.

Aquí se propone una adaptación del marco desarrollado por Wainger y Mazzotta (2011) (Figura 5). Antes de seguir los pasos del marco, el equipo del proyecto debe comprender qué servicios ecosistémicos se





verán probablemente afectados por las acciones de manejo. A lo largo de la explicación de estos pasos, pasamos por un ejemplo, que se diferencia del resto del texto con recuadros azules.

**Cuadro 1.** Introducción al ejemplo de la aplicación del marco de los servicios ecosistémicos Un proyecto está promoviendo la regeneración natural de un área determinada de bosque nativo. Se espera que esto genere beneficios en los siguientes dos servicios ecosistémicos: 1) mitigación de inundaciones en comunidades aguas abajo y 2) valor de existencia para una especie de ave en peligro de extinción nativa del tipo de bosque tropical que se regenera.

Tal como se analiza más en detalle a continuación, no todos los pasos propuestos en este marco serán necesarios para todos los servicios.

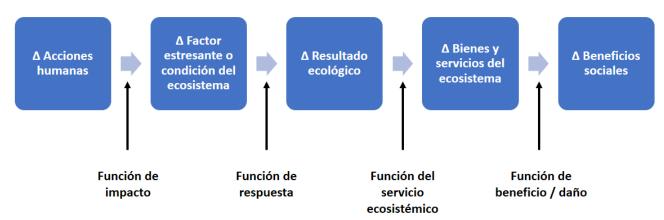


Figura 5. Modelo conceptual de servicios ecosistémicos: Pasos para analizar los efectos del servicio ecosistémico de las medidas de gestión de proyectos. Tomado de Wainger y Mazzotta (2011).

La implementación total de este marco requerirá un equipo interdisciplinario de científicos naturales y sociales, por ejemplo un equipo de ecologistas, hidrólogos y economistas, para conectar los cambios ecológicos que derivan de la acción de manejo para eliminar los beneficios o daños a los seres humanos.

Asimismo, requerirá una evaluación exhaustiva de todos los datos, métodos y modelos disponibles para cuantificar las diferentes métricas en los 4 pasos diferentes. La disponibilidad de datos y modelos constituirá inevitablemente una limitación. No obstante, como enfatizan Wainger y Mazzotta (2011), "los gerentes no pueden esperar la información perfecta; por lo tanto, los investigadores pueden intentar sintetizar la mejor información disponible . . . y usar la opinión de peritos de manera que minimice el sesgo para llenar los vacíos ". Los métodos para cuantificar las diferentes funciones se identifican a continuación y en la Figura 5 pueden variar desde complejos modelos econométricos espaciales a la opinión de peritos.



### 4.1 Pasos del marco de evaluación

**Paso 1. Función de impacto.** En la función de impacto, se identifican y cuantifican los cambios en los factores estresantes ecológicos, es decir, los procesos y las estructuras ecosistémicos que derivan de las acciones de manejo. Las métricas utilizadas en este paso, denominadas *indicadores de factores estresantes ecológicos*, son indicadores ecológicos tradicionales, tales como la carga de nutrientes, los coeficientes de escorrentía, el área reforestada y demás.

### Cuadro 2. Aplicación de la función de impacto en el ejemplo

En el caso de la regeneración de bosques naturales en un área determinada, el equipo del proyecto aplica un modelo hidrológico para estimar que el bosque regenerado reducirá la escorrentía superficial en un cierto grado. Asimismo, el equipo anticipa que la regeneración forestal llevará a un aumento del bosque nativo en un cierto número de hectáreas.

**Paso 2. Función de respuesta.** En la función de respuesta, el cambio en el factor estresante ecológico está vinculado a cambios en el resultado ecológico que afectan directamente al servicio ecosistémico en cuestión. El indicador utilizado para medir el resultado ecológico, denominado indicador de resultado ecológico, es clave, ya que debe aclarar por qué los cambios ecológicos mencionados son importantes para las personas.

### Cuadro 3. Aplicación de la función de respuesta en el ejemplo

La intensidad y frecuencia de las inundaciones son los indicadores de resultado ecológico para el servicio de mitigación de inundaciones. Los resultados del modelo hidrológico superpuestos con los mapas demográficos muestran que la disminución de la escorrentía superficial llevará a una menor intensidad y frecuencia de inundación en las comunidades aguas abajo.

Para el servicio ecosistémico de especies en peligro de extinción, el indicador seleccionado es la mayor superficie del hábitat de las especies de aves, que será evaluada en este caso por la opinión de los peritos biólogos del equipo.

En muchos casos, si el resultado ecológico de interés es uno y el mismo que el cambio en el factor estresante ecológico, la función de impacto y la función de respuesta también pueden ser las mismas. Por ejemplo, en el caso de la calidad del agua para consumo humano, la concentración de patógenos en el agua sería la métrica tanto para el paso 1 como para el paso 2.

**Paso 3**. **Función de producción del servicio ecosistémico**. Una vez que la función de respuesta ha determinado que las condiciones naturales están en su lugar para proporcionar el servicio ecosistémico,

On behalf of:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany



es necesario asegurarse de que estas realmente proporcionen servicios o perjuicios ecosistémicos al identificar si estos cambios ecológicos tienen valor para las comunidades humanas. Este paso vincula los cambios ecológicos con la demanda de los cambios en las condiciones sociales.

### Cuadro 4. Aplicación de la función de producción del servicio ecosistémico en el ejemplo

En el caso del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones, si el equipo del proyecto considera que ningún ser humano se verá afectado por el cambio en la intensidad y en la frecuencia de las inundaciones, entonces el equipo puede descartar la mitigación de las inundaciones como un servicio ecosistémico. No obstante, si el equipo descubre que ciertas comunidades río abajo se verían afectadas, entonces se debería evaluar la magnitud del impacto utilizando las métricas seleccionadas. La métrica aplicada es el número de residencias y de empresas afectadas por el cambio en la intensidad y en la frecuencia de las inundaciones, que el equipo identificó utilizando datos del censo y datos municipales locales.

Para el valor de existencia del servicio ecosistémico para una especie de ave, el equipo del proyecto aplica dos indicadores. El primer indicador es la identificación de las especies de aves como prioridad de conservación. El equipo descubre evidencia de que varias ONG internacionales de conservación le dan prioridad a la conservación de la especie. El gobierno de Colombia ha identificado asimismo como especie en peligro de extinción la protección requerida por la ley. El segundo indicador es la abundancia esperada de las especies de aves en el bosque restaurado.

**Paso 4. Función de beneficio / daño.** Además de identificar si existe o no valor para los cambios ecológicos de un proyecto, también es posible cuantificar estos valores en términos de cambios en el bienestar social. Estos se pueden cuantificar a través de la monetización de valores, por ejemplo evaluando la voluntad de pagar de las personas, el valor de mercado de una tonelada de CO<sub>2</sub> reducido, los costos evitados de daños por inundaciones y demás. De manera alternativa, el equipo del proyecto puede elegir utilizar indicadores no monetarios (por ejemplo, el, número de personas afectadas) para indicar cambios en el bienestar social, como los indicadores identificados en la función de producción del servicio ecosistémico en el paso 3. En este caso, los pasos 3 y 4 se fusionarían en un solo paso.

Existen muchas técnicas para valorar diferentes servicios ecosistémicos en términos monetarios (National Research Council, 2005). No obstante, el equipo que realiza la evaluación debe tener precaución al aplicar valores monetarios a los cambios en los servicios ecosistémicos, ya que muchos servicios ecosistémicos son extremadamente difíciles de monetizar. Esta dificultad a su vez podría llevar a una subestimación de los beneficios (o daños) totales que derivan de una acción de manejo, especialmente cuando se compara con usos de la tierra que se pueden monetizar más fácilmente, como la agricultura o el desarrollo urbano. Asimismo, los valores de monetización pueden no capturar el verdadero valor social. Por ejemplo, monetizar los cambios en los servicios ecosistémicos a las comunidades pobres que dependen de los bosques puede no representar debidamente el alto valor que estas comunidades le dan a los servicios. Además, un cierto número de hogares caros en una zona





acomodada parecerá ser más importante que el mismo número de casas baratas en un barrio pobre, dando la impresión de que los beneficios brindados a las personas más adineradas son más valiosos que las necesidades previstas a las personas más pobres. Esto, a su vez, puede exacerbar los problemas de desigualdad social.

Los pasos 3 y 4 también se pueden fusionar si el mejor indicador para expresar si existe una demanda del servicio es monetario. Por ejemplo, en el caso de la mitigación del cambio climático, dado que es difícil vincular una cantidad específica de emisiones de carbono evitadas con un impacto distinto en el bienestar humano, el indicador más apropiado para evaluar la demanda para reducir las emisiones de carbono es usar el valor de mercado de una tonelada de carbono o el costo social del carbono<sup>2</sup>. Si el equipo decide que los cambios en los servicios se deben monetizar, los economistas ambientales o ecológicos con experiencia deberían participar en este análisis.

### Cuadro 5. Aplicación de la función beneficio / daño en ejemplo

Para el servicio de riesgo de inundación, el equipo del proyecto estima los costos de los daños evitados a la propiedad por la reducción de la frecuencia y de la intensidad de las inundaciones, que ellos estiman de los costos de los daños registrados por inundaciones previas. Debido a la dificultad de monetizar debidamente los beneficios adicionales que brinda el nuevo hábitat de las especies de aves, el equipo elige no monetizar los beneficios mencionados. En su lugar, utilizan las métricas derivadas del Paso 4 para ilustrar los beneficios sociales que brinda el proyecto de regeneración forestal.

# Cuadro 6. Resumen de los indicadores aplicados a los diferentes pasos de los dos servicios ecosistémicos evaluados

	Mitigación de inundaciones	Valor de existencia para especies de aves en peligro de extinción
Paso 1. Función de impacto Indicador de factor estresante ecológico	Escorrentía superficial	Área de bosques nativos
Paso 2. Función de respuesta Indicador de resultado ecológico	Intensidad y frecuencia de la inundación	Área del hábitat de las especies de aves

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> El valor estimado de los daños totales de la emisión de una tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera (Fondo de defensa ambiental, n.d.).



Paso 3. Función de producción de servicios ecosistemicos Indicador de servicios ecosistémicos	Número de residencias y de negocios afectados	<ul> <li>Identificación del ave como prioridad de conservación</li> <li>Abundancia esperada del ave en el bosque restaurado</li> </ul>	
Paso 4. Función de beneficio / daño Indicador de beneficio / daño	Costos de daños evitados	N/A – no se analizó	

## 5 Ejemplos de indicadores para diferentes servicios ecosistémicos

Una clave para la implementación de los servicios ecosistémicos es la selección de indicadores que comuniquen claramente los cambios en cada uno de los pasos. El gráfico 1 brinda *ejemplos* de indicadores para cada paso. No obstante, los ejemplos mencionados no se deben considerar la aprobación de indicadores particulares. La selección final de los indicadores dependerá del servicio ecosistémico especifico que se analiza, las circunstancias particulares del sitio de estudio, así como de los datos y de las metodologías disponibles para analizar los cambios en los servicios ecosistémicos.

Gráfico 1. Indicadores para evaluar los cambios en los servicios ecosistémicos debido a las acciones del hombre

Servicio ecosistémico	Ejemplos de indicadores de factores estresantes ecológicos	Ejemplos de indicador de resultados ecológicos	Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos	Ejemplos de indicadores de beneficios / daños
Calidad del agua	<ul> <li>Concentración de patógenos en el agua;</li> <li>Concentración de nitrato en agua.</li> </ul>	• Concentración de patógenos o nitratos en el agua en comparación con el nivel que se considera seguro para el consumo humano.	Número de incidencias de enfermedades transmitidas por el agua.	<ul> <li>Costo del agua potable;</li> <li>Costos de salud por enfermedades transmitidas por el agua;</li> <li>Costos evitados de tratamiento del agua.</li> </ul>





Servicio ecosistémico	Ejemplos de indicadores de factores estresantes ecológicos	Ejemplos de indicador de resultados ecológicos	Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos	Ejemplos de indicadores de beneficios / daños
Abastecimiento de agua	<ul> <li>Flujo de agua durante la estación seca;</li> <li>Índices de infiltración de aguas subterráneas.</li> </ul>	<ul> <li>Disponibilidad de agua superficial;</li> <li>Disponibilidad de agua subterránea.</li> </ul>	<ul> <li>Relación usorecurso<sup>3</sup>;</li> <li>Tiempo que lleva encontrar y extraer agua.</li> </ul>	Costo del agua para diferentes sectores.
Suministro de materia prima	<ul> <li>Cambio en el área disponible para la cosecha;</li> <li>Cambio en el número de especies que producen materias primas.</li> </ul>	Cantidad de materia prima disponible para cosechar de manera sostenible.	<ul> <li>Cantidad de material cosechado de manera sostenible;</li> <li>Número de familias / comunidades que se benefician con la cosecha;</li> </ul>	Ingresos     producidos de     la cosecha     sostenible.
Productos farmacéuticos	<ul> <li>Cambio en el área disponible para cosechar medicina tradicional o área para investigar medicina moderna;</li> <li>Estimación de la riqueza de especies en el área nueva.</li> </ul>	Número estimado de especies / cantidad de sustancia que se utilizará para la medicina tradicional o para la investigación con fines medicinales modernos.	<ul> <li>Número de comunidades locales que se benefician de la medicina tradicional;</li> <li>Número de comunidades locales que se benefician de la medicina tradicional.</li> </ul>	Valor estimado del área adicional a la medicina moderna (a través de la revisión bibliográfica)
Mitigación del cambio climático	<ul> <li>Área reforestada;</li> </ul>	• Cantidad de carbono	Consulte los     indicadores de	Valor de mercado de

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> La relación uso-recurso se define como la cantidad de agua consumida por la cantidad disponible (Xu & Wu, 2017).





Servicio ecosistémico	Ejemplos de indicadores de factores estresantes ecológicos	Ejemplos de indicador de resultados ecológicos	Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos	Ejemplos de indicadores de beneficios / daños
	Tamaño de las reservas de carbono forestal.	<ul> <li>capturado por año por bosque;</li> <li>Cantidad de carbono almacenado por año por bosque.</li> </ul>	beneficio / daño.	<ul><li>una tonelada de carbono;</li><li>Costo social del carbono.</li></ul>
Mitigación de inundaciones	Coeficiente de escorrentía	<ul> <li>Intensidad de la inundación</li> <li>Duración de la inundación</li> <li>Frecuencia de inundación</li> </ul>		
Mitigación del aumento del nivel del mar	<ul> <li>Índices de acreción del suelo.</li> <li>Elevación del suelo</li> </ul>	• Superficie convertida de tierra a aguas abiertas.		
Mitigación de tormentas costeras	<ul> <li>Composición de especies de árboles;</li> <li>Tamaño y densidad del bosque.</li> </ul>	<ul> <li>Atenuación de ola</li> <li>Amplitud de marejada ciclónica;</li> <li>Amplitud de la marea de tormenta.</li> </ul>	<ul> <li>Número de propiedades y negocios afectados;</li> <li>Número de lesiones evitadas;</li> <li>Número de muertes evitadas.</li> </ul>	Costos de daños evitados
Prevención de desprendimientos de tierra	Cobertura de la tierra.	<ul> <li>Intensidad de desprendimient o de tierra</li> <li>Frecuencia de desprendimient o de tierra</li> </ul>		
Riesgo de incendio forestal	<ul> <li>Cantidad de material combustible</li> </ul>	<ul><li>Número de incendios forestales</li><li>Gravedad de los</li></ul>		



Servicio ecosistémico	Ejemplos de indicadores de factores estresantes ecológicos	Ejemplos de indicador de resultados ecológicos incendios	Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos	Ejemplos de indicadores de beneficios / daños
Control de enfermedades	<ul> <li>Área de mayor hábitat para predadores naturales y competidores;</li> <li>Mayor riqueza de especies.</li> </ul>	forestales  Presencia de depredadores naturales y competidores  Abundancia de depredadores naturales y competidores  Abundancia de vectores de enfermedades.	Número de brotes	Costos sanitarios por brotes
Turismo y recreación	<ul> <li>Riqueza de especies;</li> <li>Abundancia de especies;</li> <li>Estructura del bosque.</li> </ul>	<ul> <li>Área natural disponible para el turismo;</li> <li>Número y / o diversidad de actividades de ecoturismo respaldadas</li> </ul>	<ul> <li>Número de turistas que visitan por año;</li> <li>Número y / o diversidad de actividades de ecoturismo respaldadas</li> </ul>	<ul> <li>Cantidad de dinero gastado por turista por año;</li> <li>Cantidad de ingresos generados por el turismo;</li> <li>Excedente del consumidor para cada turista<sup>4</sup></li> </ul>
Experiencia estética	<ul> <li>Cambio en la superficie;</li> <li>Estructura y composición del bosque.</li> </ul>	Mayor superficie de paisaje valioso.	Número de residencias o empresas (por ejemplo, hoteles) con vistas al paisaje.	<ul> <li>Precios inmobiliarios</li> <li>Disposición a pagar por experiencia</li> </ul>

\_

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> El excedente del consumidor es la diferencia en la cantidad que el consumidor (en este caso, el turista) pagó por el servicio y la cantidad que estaría dispuesto a pagar.





Servicio ecosistémico	Ejemplos de indicadores de factores estresantes ecológicos	Ejemplos de indicador de resultados ecológicos	Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos	Ejemplos de indicadores de beneficios / daños
Enriquecimiento espiritual y religioso		Mayor área de valor.	Número de personas que valoran el bosque por razones religiosas o espirituales.	<ul> <li>estética.</li> <li>Voluntad de pagar por la experiencia espiritual / religiosa</li> <li>Voluntad de aceptar renunciar a la experiencia religiosa / espiritual</li> </ul>
Bienestar y sentido del lugar			Número de personas que obtienen bienestar o una sensación de lugar del bosque.	<ul> <li>Voluntad de pagar por el bienestar y el sentido del lugar derivado del bosque;</li> <li>Voluntad de aceptar renunciar al bienestar y la sensación de lugar derivados del bosque.</li> </ul>
Valor de existencia	<ul> <li>Cambio en el área;</li> <li>Estructura y composición del bosque;</li> <li>Riqueza de especies y abundancia.</li> </ul>	<ul> <li>Cambio en la superficie del valioso ecosistema o hábitat de una especie valorada</li> <li>Presencia y abundancia de</li> </ul>	Identificación de la importancia o valor ecosistémico o de la especie por parte de la organización de conservación, gobierno.	<ul> <li>Voluntad de pagar para proteger especies o hábitat;</li> <li>Voluntad de aceptar renunciar a la protección de</li> </ul>





Servicio ecosistémico	Ejemplos de indicadores de factores estresantes ecológicos	Ejemplos de indicador de resultados ecológicos	Ejemplos de indicadores de servicios ecosistémicos	Ejemplos de indicadores de beneficios / daños
		especies valiosas		una especie o hábitat.

### 6 Conclusiones

La implementación del marco conceptual para evaluar los servicios ecosistémicos no solo ayuda a los equipos a evaluar los beneficios y los daños que derivan de las diferentes acciones de manejo; ayuda asimismo a comunicar claramente los vínculos mencionados con los responsables de tomar decisiones y con las comunidades locales. Por ejemplo, en lugar de argumentar a favor de los beneficios de un proyecto de restauración forestal en términos de reducir la escorrentía, el equipo del proyecto puede mostrar claramente la conexión entre la reducción de la escorrentía y la reducción de la intensidad de la inundación en las propiedades impactadas en las comunidades aguas abajo.

Este marco conceptual propuesto no es solo aplicable a la evaluación de beneficios / daños adicionales de los proyectos forestales de NAMA sino que lo podrían utilizar otras instituciones colombianas al evaluar los impactos de las decisiones de manejo actuales y futuras relacionadas con los recursos naturales.

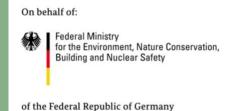
### 7 Referencias

Armenteras, D., González, T. M., & Retana, J. (2013). Forest fragmentation and edge influence on fire occurrence and intensity under different management types in Amazon forests. *Biological Conservation*, 159(Supplement C), 73–79. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.026

Brandon, K. (2014). Ecosystem Services from Tropical Forests: Review of Current Science (CGD Working

Paper 380). Center for Global Development. Retrieved from

http://www.cgdev.org/publication/ecosystem-services-tropical-forests-review-currentscience-working-paper-380





- Brooks, M. L., D'Antonio, C. M., Richardson, D. M., Grace, J. B., Keeley, J. E., DiTomaso, J. M., ... Pyke, D. (2004). Effects of Invasive Alien Plants on Fire Regimes | BioScience | Oxford Academic.

  \*BioScience\*, 54(7). Retrieved from https://academic.oup.com/bioscience/article/54/7/677/223532
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(Supplement C), 152–158. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002
- Environmental Defense Fund. (n.d.). The true cost of carbon pollution. Retrieved December 20, 2017, from https://www.edf.org/true-cost-carbon-pollution
- Filoso, S., Ometto Bezarra, M., Weiss, K. C. B., & Palmer, M. A. (2017). Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS ONE*, *12*(8). https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, *68*(3), 643–653. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014
- Jobbágy, E. G., Baldi, G., & Nosetto, M. D. (2011). Tree Plantation in South America and The Water Cycle:

  Impacts and Emergent Opportunities. In T. Schlichter & L. Montes (Eds.), *Forests in Development: A Vital Balance* (pp. 53–63). Dordrecht: Springer.
- Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.

WINROCK INTERNATIONAL

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica* (p. 101). Bogotá, D.C., Colombia.
- National Research Council. (2005). *Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision-Making*. Washington, DC: The National Academies Press. Retrieved from https://www.nap.edu/catalog/11139/valuing-ecosystem-services-toward-better-environmental-decision-making
- Ramirez-Gomez, S. O. I., Torres-Vitolas, C. A., Schreckenberg, K., Honzák, M., Cruz-Garcia, G. S., Willcock, S., ... Poppy, G. M. (2015). Analysis of ecosystem services provision in the Colombian Amazon using participatory research and mapping techniques. *Ecosystem Services*, *13*(Supplement C), 93–107. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.009
- Robinson, M. M., & Zhang, X. (2011). *The World Medicines Situation 2011 Traditional Medicines: Global Situation, Issues, and Challenges.* Geneva: World Health Organization.
- Vilardy, S. P., González, J. A., Martín-López, B., & Montes, C. (2011). Relationships between hydrological regime and ecosystem services supply in a Caribbean coastal wetland: a social-ecological approach. *Hydrological Sciences Journal*, *56*(8), 1423–1435.

  https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631497
- Wainger, L., & Mazzotta, M. (2011). Realizing the Potential of Ecosystem Services: A Framework for Relating Ecological Changes to Economic Benefits. *Environmental Management*, 48(4), 710. https://doi.org/10.1007/s00267-011-9726-0





WAVES. (2016). Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Colombia Country Report 2016

Working Document. Retrieved from https://www.wavespartnership.org/en/colombia

Xu, H., & Wu, M. (2017). Water Availability Indices – A Literature Review (No. ANL/ESD-17/5). Energy

Systems Division, Argonne National Laboratory.