

Manual de Capacitación para **EAI** Volumen 2

**Aplicación del enfoque
ecosistémico en las
Evaluaciones Ambientales
Integrales (EAI)**



Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Autores:

Dolors Armenteras Pascual, PhD, Profesora Asociada, Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia

Mónica Morales Rivas, Estudiante Doctorado, Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia

Equipo PNUMA:

Supervisión Técnica, Coordinación:

Graciela Metternicht, Coordinadora Regional, División Evaluación y Alerta Temprana, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Panamá

Apoyo, edición:

Silvia Giada, División de Evaluación y Alerta Temprana

Johanna Granados, División de Evaluación y Alerta Temprana

Diseño:

Rocío Milena Marmolejo Cumbe

Fotografías de cubierta:

Niños: Dave Curtis

Manglares y playa: Johanna Granados A.

Está autorizada su reproducción total o parcial y de cualquier otra forma de esta publicación para fines educativos o sin fines de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, bajo la condición de que se identifique la fuente de la que proviene.

PNUMA agradecerá que se le remita un ejemplar de cualquier texto cuya fuente haya sido la presente publicación.

No está permitido el uso de esta publicación para su venta o para usos comerciales.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Los contenidos de este documento no reflejan necesariamente las opiniones o políticas del PNUMA o de sus organizaciones contribuyentes con respecto a la situación jurídica de un país, territorio, ciudad, o área o de sus autoridades, o con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

Copyright © 2010, PNUMA

Para mayor información:

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Oficina Regional para América Latina y el Caribe

División de Evaluación y Alerta Temprana

Avenida Morse, Edificio 103. Clayton, Ciudad del Saber -
Corregimiento de Ancón

Panama City, Panamá

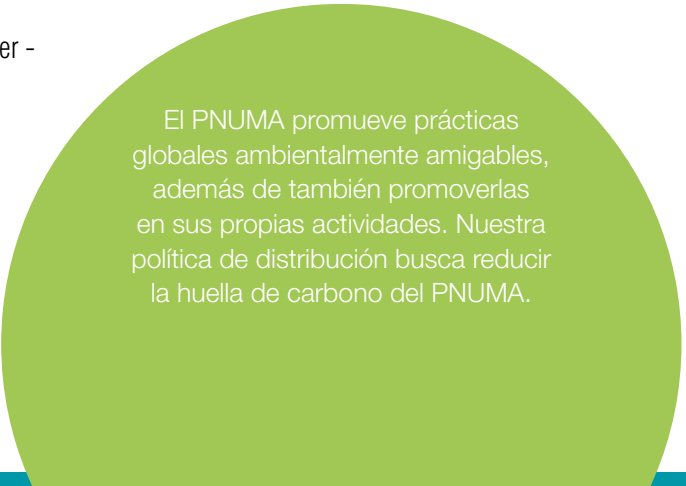
Código Postal: 03590-0843

Teléfono: (+507) 305-3100

Fax: (+507) 305-3105

<http://www.pnuma.org>

Correo electrónico: rolac.dewalac@unep.org



El PNUMA promueve prácticas globales ambientalmente amigables, además de también promoverlas en sus propias actividades. Nuestra política de distribución busca reducir la huella de carbono del PNUMA.

Agradecimientos:

El presente trabajo ha sido elaborado por el PNUMA con financiación recibida de la Cuenta de Desarrollo de las Naciones Unidas (*United Nations Development Account*, UNDAC por sus siglas en inglés) a través del proyecto Red Sur-Sur de Centros Colaboradores GEO para Evaluaciones Ambientales Integrales y reportes que asistan la formulación de políticas y toma de decisiones informadas a nivel nacional, regional y global (*South-South Network of GEO Collaborating Centres for Integrated Environmental Assessment and reporting to support policy formulation and informed decision making processes at national, regional and global levels*). El objetivo general de dicho proyecto radica en la mejora de decisiones ambientales y preparación de políticas ambientales a nivel regional y sub-regional.

Equipo PNUMA-ORPALC:

Supervisión Técnica, Coordinación:

Graciela Metternicht, Coordinadora Regional, División de Evaluación y Alerta Temprana

Apoyo, edición:

Silvia Giada, División de Evaluación y Alerta Temprana

Johanna Granados, División de Evaluación y Alerta Temprana

Autores

Dolors Armenteras Pascual, PhD, Profesora Asociada, Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia

Mónica Morales Rivas, Estudiante Doctorado, Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia

Revisión profesional y científica:

En Octubre de 2009 se realizó un taller de expertos regionales con el fin de revisar y mejorar los contenidos de la **Guía para aplicación del enfoque ecosistémico en las EAIs**. Al mismo asistieron y proveyeron comentarios para la elaboración del documento final:

Barbara Garea, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

Diego Martino, Oficial Nacional, PNUMA, Uruguay.

Carlos Welsch, Centro Nacional de Investigación (Boulder, Colorado, USA);
Centro de Ciencias de la Tierra Universidad Veracruzana (Veracruz, Mexico).

Alejandra Volpedo, Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua,
Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina.

Rodrigo Victor, Reserva de la Biósfera del Cinturón Verde, Sao Paulo, Brasil.

Melanie Kolb, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.

Magally Castro, Sistema Nacional de Área de Conservación (SINAC), Gestión Socioecológica del
Territorio, Costa Rica.

Eugenia Wo Ching, Instituto de Políticas Ambientales, Costa Rica.

Alma Ulloa, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Venezuela.

Graciela Metternicht, División de Evaluación y Alerta Temprana, PNUMA – ORPALC, Panamá.

Eric Anderson, Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe, Panamá.

Silvia Giada, División de Evaluación y Alerta Temprana, PNUMA – ORPALC, Panamá.

Johanna Granados, División de Evaluación y Alerta Temprana, PNUMA – ORPALC, Panamá.

Otros revisores expertos:

Pedro Laterra, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Balcarce; y Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Argentina.

Nelly Rodríguez Eraso, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

Tabla de Contenido

1.	Presentación y objetivos	1
2.	Contexto	2
2.1	Antecedentes	2
2.2	Conceptos y términos	3
2.2.1	El concepto de ecosistema y el enfoque ecosistémico	3
2.2.2	Los servicios ecosistémicos	5
3.	Integración del enfoque ecosistémico en las EAI	8
3.1	Delimitación del área de estudio	10
3.2	Desarrollo del modelo conceptual ecosistémico	12
3.3	Delimitación de las unidades ecosistémicas de análisis	16
3.4	Herramientas para el análisis de datos	21
3.4.1	Análisis no espacial	21
3.4.2	Análisis espacial	24
3.4.3	Análisis multiescalar	26
3.4.4	Uso de indicadores	28
4.	Consideraciones para la aplicación del enfoque ecosistémico en EAI futuras	36
5.	Referencias	38
6.	Anexos	42
7.	Glosario de términos	51

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura analítica simplificada para la evaluación ambiental integral y la elaboración de informes (adaptado de Jäger y otros, sf., Módulo de capacitación 1).....	3
Figura 2. Relación entre aquellos principios del enfoque ecosistémico que aportan a la respuesta a las preguntas claves en el proceso de evaluación en una EAI	8
Figura 3. Esquema metodológico para la incorporación del enfoque ecosistémico a las EAI	9
Figura 4. Ejemplo de análisis cualitativo de cambios en el estado del ambiente y su relación con el ser humano	22
Figura 5. Etapas esenciales a tener en cuenta para realizar un análisis espacial en una EAI ...	25

Lista de Recuadros

Recuadro 1. Principios y guía operativa del enfoque ecosistémico (Convenio sobre la Diversidad Biológica, Decisión V/6)	4
Recuadro 2. Las “Amazonias” tras el GEO Amazonia	11
Recuadro 3. Ejemplo e identificación de servicios ambientales en la Evaluación sub global del Milenio de la región cafetera en Colombia (Armenteras y otros 2005).	13
Recuadro 4. Posible marco conceptual FMPEIR para análisis de los servicios ecosistémicos para la Amazonia. Adaptado de MA (2005) y UNEP (2007).....	14
Recuadro 5. Ejemplo de desarrollo de un modelo ecosistémico y análisis de un servicio ecosistémico bajo el marco conceptual FMPEIR: regulación de enfermedades como por ejemplo dengue.	15
Recuadro 6. Ejemplos de unidades ecosistémicas de análisis de tipo estructural	17
Recuadro 7. Uso de sensores remotos para la elaboración de mapas de unidades ecosistémicas funcionales	20
Recuadro 8. Uso de datos no espaciales en una EAI. Ejemplo, número de especies por grupo biológico reportado por país y por región amazónica (tomado de GEO AMAZONIA 2008)	22
Recuadro 9. Servicio ecosistémico de los bosques amazónicos: regulación del flujo de agua, evidencia del efecto de la deforestación a múltiples escalas (Foley y otros, 2007).....	26
Recuadro 10. Ejemplo de análisis espacial multiescalar para análisis de oferta y demanda de un servicio ecosistémico	27
Recuadro 11. Resumen del desarrollo de indicadores globales por áreas temáticas del proyecto Biodiversity Partnership Indicators BIP 2010	32
Recuadro 12. Ecosistemas: cambios no lineales y ecosistemas emergentes	37

Lista de tablas

- Tabla 1.** Definiciones de los tipos de bienes y servicios relacionados con los ecosistemas boscosos y costeros/marinos 6
- Tabla 2.** Indicadores generales para evaluar el estado de servicios ecosistémicos (MA 2009) y una propuesta de posibles indicadores para la Amazonía 25

Lista de Acrónimos

AVHRR/NOAA	Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration
CAN	Comunidad Andina de las Naciones
CARICOM	Comunidad del Caribe
CBD	Convenio sobre la de Diversidad Biológica
CCAD	Comisión Centroamericana del Ambiente y el Desarrollo
DEAT	División de Evaluación y Alerta Temprana (PNUMA)
DPSIR	Drivers Pressures State Impacts Responses
EAI	Evaluación Ambiental Integral
FMPEIR	Fuerzas motrices-Presiones-Estado-Impactos-Respuestas
GEO	Global Environmental Outlook
MA	Millennium Ecosystem Assessment (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio)
MERCOSUR	Mercado Común del Sur
ORPLAC	Oficina Regional para América Latina y el Caribe (PNUMA)
OTCA	Organización del Tratado de Cooperación Amazónica
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SIG	Sistema de Información Geográfica
SR	Sensores Remotos
UNEP	United Nations Environment Programme
USGS	United States Geological Service
WWF	World Wildlife Fund

1. Presentación y objetivos

Existe una creciente necesidad en nuestra sociedad actual, y consecuentemente de los tomadores de decisiones que nos representan, de obtener respuestas confiables y vigentes a preguntas tan fundamentales como algunas que las Evaluaciones Ambientales Integrales (EAI) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) vienen contestando desde su creación como, por ejemplo, ¿cómo está cambiando nuestro medio ambiente? Después de dos décadas o más desde que las EAI empezaron a proporcionar información al respecto, y a mostrar algunas tendencias de cambios en el ambiente, los nuevos retos ambientales de este siglo (en que han aparecido temas emergentes como las especies invasoras, el cambio climático o similares), demandan más y más respuestas integrales, así como efectividad en el acceso a información de alta calidad, objetiva y con base científica que realmente permita alcanzar, de forma sólida, un balance entre los diversos objetivos de nuestras sociedades.

A partir de los avances presentados en la evaluación global GEO 4 (UNEP 2007), la División de Evaluación y Alerta Temprana (DEAT) de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe (ORPALC) del PNUMA se ha planteado como una de sus estrategias avanzar en la incorporación del enfoque ecosistémico en sus EAI. Este enfoque, y sus consecuentes desarrollos (como el de servicios ecosistémicos), resultan ser de suma utilidad para abordar el análisis del estado del medio ambiente incorporando el bienestar humano. El enfoque ecosistémico, acompañado de sus 12 principios, fue por primera vez propuesto por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) en el año 2000 en Nairobi (Decisión V/6) como una estrategia para el manejo integrado de la tierra, el agua y los recursos naturales, incluyendo a los seres humanos como un componente integral de todos los ecosistemas del mundo. Este enfoque emplea como unidad fundamental al ecosistema, entendido como la combinación de “organismos vivos y su medio no viviente” (“*living organisms and their nonliving environment*”). Los ecosistemas, además de su valor intrínseco, proporcionan servicios fundamentales para el sustento de la vida en la Tierra.

Este módulo temático, preparado para ser una adición al **Manual de Capacitación para Evaluaciones Ambientales Integrales y elaboración de informes** (previamente conocido como *GEO Resource Book*), tiene el objetivo de proporcionar un conjunto de lineamientos básicos para aplicar el enfoque ecosistémico en las Evaluaciones Ambientales Integrales (EAI) regionales y sub-regionales futuras. Con este módulo los usuarios:

1. Podrán familiarizarse y contarán con una guía de aspectos conceptuales, metodológicos y técnicos para la integración del enfoque ecosistémico a una EAI;
2. Entenderán la importancia del concepto de ecosistema y de los servicios que este presta para adelantar este tipo de evaluaciones.

A lo largo del desarrollo de las secciones de este módulo, el desarrollo conceptual y metodológico se acompaña de ejemplos específicos del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sensores Remotos (SR), desarrollo de indicadores, modelación espacial y análisis de información. Adicionalmente se sugieren algunos ejercicios para estimular la discusión y apoyar a los usuarios con los elementos que les permitan considerar la incorporación de esta aproximación en las etapas de evaluación del estado del medio ambiente en sus EAI.



2. Contexto

2.1 ANTECEDENTES

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha contribuido desde 1995 con el desarrollo de metodologías para el diseño, planificación e implementación de las Evaluaciones Ambientales Integrales (EAI) a nivel global, regional, sub-regional, nacional y local. Estos procesos son tradicionalmente participativos, multidisciplinarios y multisectoriales y en muchos casos son considerados también multidimensionales e incluso multi-escalares (Jäger y otros, sf., Módulo de capacitación 1). Las EAI han desarrollado las evaluaciones del estado del medio ambiente a partir del marco analítico de Fuerzas Motrices-Presiones-Estado-Impactos-Respuestas (FMPEIR) (Drivers-Pressure-State-Impact-Responses, DPSIR, en inglés), conformado por estos cinco elementos principales. En este marco analítico se establece una relación y direccionalidad entre los componentes que lo conforman, y es el punto de referencia para evaluar los factores directos (presiones) e indirectos (fuerzas motrices) que influyen el estado del medio ambiente, así como los impactos que puedan derivarse de estas acciones, para poder establecer respuestas oportunas en el manejo sostenible del medio ambiente. La aplicación de este marco en los procesos de EAI ha aportado a dar respuesta a cinco preguntas principales (Figura 1):

1. ¿Qué le está pasando al medio ambiente y por qué? (estado, presiones, fuerzas motrices)
2. ¿Cuáles son las consecuencias para el medio ambiente y la humanidad? (impactos)
3. ¿Qué se está haciendo y cuán eficaces son estas medidas? (respuestas)
4. ¿Hacia dónde vamos?
5. ¿Qué medidas podrían tomarse para asegurar un futuro más sostenible?

Las tres primeras preguntas son las directamente relacionadas con el proceso de la evaluación ambiental, y con el contenido de este módulo.

Figura 1. Estructura analítica simplificada para la evaluación ambiental integral y la elaboración de informes (Adaptado de Jäger y otros, sf., Módulo de capacitación 1 del Manual de Capacitación para EAI).



2.2 CONCEPTOS Y TÉRMINOS

2.2.1. EL CONCEPTO DE ECOSISTEMA Y EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO

Uno de los primeros autores en hacer una aproximación al concepto de ecosistema fue Tansley en 1935, definiéndolo como la unidad básica de la naturaleza compuesta por el conjunto de organismos y factores físicos que forman el ambiente. Desde ese entonces, la discusión sobre su definición (O'Neill 2001) y su aplicación ha sido larga y seguirá vigente por muchos años. No obstante una de las definiciones más utilizadas hoy en día es la del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) que define **ecosistema** como “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos, y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional”, y en el que el hombre se considera como parte integral (Artículo 2, CDB). Asociado a este concepto de ecosistema se encuentran los conceptos de función (o funcionamiento) y estructura. El primero se relaciona con el intercambio de materiales y flujo de energía en un ecosistema; y la estructura está relacionada con la organización y distribución de los elementos dentro de éste.



Los seres humanos y sus acciones están intrínsecamente asociados con el ambiente, e idealmente ambos deberían ser vistos como una unidad. Sin embargo, en el pasado fueron comúnmente

considerados como entidades separadas. Este paradigma ha venido evolucionando en la medida en que la noción de una unidad ambiente-hombre ha ganado mayores audiencias y se ha vuelto cada vez más apreciada. Es así como en el año 2000, el CDB llevó esta idea al nivel político global al sugerir que el “enfoque ecosistémico” fuera empleado como una estrategia para el manejo integrado de la tierra, el agua y los recursos naturales, incluyendo a los seres humanos como un componente integral de todos los ecosistemas del mundo. Con el fin de hacer aplicable este enfoque, se establecieron una serie de doce principios complementarios e interrelacionados y cinco puntos de guía operativa (CDB, Decisión V/6) (Recuadro 1).

Recuadro 1. Principios y guía operativa del enfoque ecosistémico (Convenio sobre la Diversidad Biológica, Decisión V/6)

PRINCIPIOS

1. La elección de los objetivos de la gestión de los recursos de tierras, hídricos y vivos debe quedar en manos de la sociedad.
2. La gestión debe estar descentralizada al nivel apropiado más bajo.
3. Los administradores de ecosistemas deben tener en cuenta los efectos (reales o posibles) de sus actividades en los ecosistemas adyacentes y en otros ecosistemas.
4. Dados los posibles beneficios derivados de su gestión, es necesario comprender y gestionar el ecosistema en un contexto económico. Este tipo de programa de gestión de ecosistemas debería:
 - a) Disminuir las distorsiones del mercado que repercuten negativamente en la diversidad biológica;
 - b) Orientar los incentivos para promover la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica;
 - c) Procurar, en la medida de lo posible, incorporar los costos y los beneficios en el ecosistema de que se trate.
5. A los fines de mantener los servicios de los ecosistemas, la conservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas debería ser un objetivo prioritario del enfoque por ecosistemas.
6. Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento.
7. El enfoque por ecosistemas debe aplicarse a las escalas espaciales y temporales apropiadas.
8. Habida cuenta de las diversas escalas temporales y los efectos retardados que caracterizan a los procesos de los ecosistemas, se deberían establecer objetivos a largo plazo en la gestión de los ecosistemas.
9. En la gestión debe reconocerse que el cambio es inevitable.
10. En el enfoque por ecosistemas se debe procurar el equilibrio apropiado entre la conservación y la utilización de la diversidad biológica, y su integración.
11. En el enfoque por ecosistemas deberían tenerse en cuenta todas las formas de información pertinente, incluidos los conocimientos, las innovaciones y las prácticas de las comunidades científicas, indígenas y locales.
12. En el enfoque por ecosistemas deben intervenir todos los sectores de la sociedad y las disciplinas científicas pertinentes.

GUÍA OPERATIVA

1. Prestar atención prioritaria a las relaciones funcionales de la diversidad biológica en los ecosistemas.
2. Mejorar la distribución de beneficios.
3. Utilizar prácticas de gestión adaptables.
4. Aplicar las medidas de gestión a la escala apropiada para el asunto que se está abordando, descentralizando esta gestión al nivel más bajo, según proceda.
5. Asegurar la cooperación intersectorial.

2.2.2. LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

La definición de ecosistema adoptada por el CDB en 1993 abrió la puerta para que, a través de los trabajos de Costanza y otros (1997) se popularizara un nuevo concepto, igualmente debatido, el de servicios de los ecosistemas (o servicios ecosistémicos). Éstos se entienden como los beneficios que las personas obtienen a partir de usos directos o indirectos de los productos provenientes de procesos naturales, ecológicos y físicos de largo plazo (Costanza y otros, 1997). Este concepto ha servido también para resaltar el vínculo entre el ambiente y el bienestar humano. El informe GEO 4 (UNEP 2007) definió el bienestar humano como el potencial que los individuos, las comunidades y las naciones tienen de tomar sus propias decisiones y maximizar las oportunidades para alcanzar la seguridad y la buena salud, para lograr las necesidades materiales para una buena vida y unas adecuadas relaciones sociales.



Las personas y su bienestar dependen del ambiente que provee el planeta. Como tal, el bienestar es medido por la habilidad de los ecosistemas para suministrar a los humanos servicios que van desde necesidades básicas tales como comida, energía, agua y cobijo, hasta aquellos requerimientos igualmente importantes como la seguridad y la salud, todos ellos abastecidos por los ecosistemas.

Una de las aplicaciones de la conceptualización de servicios ecosistémicos que ha tenido más impacto a nivel global hasta el momento, es probablemente, la evaluación de ecosistemas del milenio o *Millennium Ecosystem Assessment (MA)* (2005), que responde a los mandatos del CBD y que clasifica los servicios ecosistémicos entre aquellos que son:

- De provisión: Productos obtenidos de los ecosistemas, como el agua, los productos forestales maderables o no maderables, o los recursos genéticos;
- De regulación: Beneficios obtenidos de los procesos ecológicos de regulación, como el clima, el alimento o el control de enfermedades;
- Culturales: Beneficios no materiales, como los valores culturales, recreativos o espirituales;
- De soporte: Servicios necesarios para la producción de los servicios de las otras tres categorías, como la producción primaria o el reciclaje de nutrientes.



La Tabla 1 presenta una descripción detallada de estos servicios ecosistémicos con algunos ejemplos específicos propuestos para bosques y ecosistemas marinos costeros en el más reciente informe GEO para América Latina y el Caribe (PNUMA 2010, Capítulo 3, Armenteras y Singh).

10

Tabla 1. Definiciones de los tipos de bienes y servicios relacionados con los ecosistemas boscosos y costeros/marinos

Tipo	Bien/Servicio	Definición	Ejemplos
De provisión	Alimento	Animales o plantas para consumo humano, obtenidos de los ecosistemas	Alimento (pescado o carne) Sales, minerales y aceites
	Materiales	Productos animales o vegetales extraídos de los ecosistemas con múltiples propósitos, pero no con fines de consumo humano	Materiales de construcción (arenas, rocas, limos, madera (incluida la estructural)) Biocombustibles, leña Productos forestales no maderables como materias primas (colorantes, tintes), artesanías o utensilios
De regulación	De gases y clima	El balance y mantenimiento de la composición química de la atmósfera y los océanos, provista por los organismos vivos de los ambientes boscosos y marinos	Regulación del clima Microclima local (sombra, enfriamiento de superficie, etc.) Fotosíntesis
	Prevención de alteraciones	La atenuación de las alteraciones por parte de las estructuras de origen biológico	Regulación de inundaciones y enfermedades
	Biorrecuperación de desechos	Remoción de contaminantes a través de almacenamiento, entierro o reciclaje	Regulación y reciclaje de desechos y mejora de la calidad del agua a través del filtrado y reciclaje del agua (mediante evapotranspiración, etc.)
Culturales	Recreación	Estimulación del cuerpo y la mente humana mediante la interacción con organismos vivos y su ambiente natural	Destinos de vacaciones, cruceros y visitantes con estadía Ecoturismo, observación de aves, observación de ballenas, caminatas Cacería
	Patrimonio e identidad cultural	Beneficio de la biodiversidad que es de la mayor significancia o que alberga testimonios de identidades culturales múltiples para una comunidad	Patrimonio cultural, sitios sagrados
	Beneficios cognitivos	Desarrollo cognitivo, incluyendo la educación e investigación resultante de los organismos vivos	Recursos genéticos Plantas medicinales Farmacéuticos

Tipo	Bien/Servicio	Definición	Ejemplos
De soporte	Resiliencia y resistencia	Grado con el cual los ecosistemas pueden absorber las alteraciones de origen natural o humano, y continuar regenerándose sin degradarse o pasar inesperadamente a estados alternativos	
	Hábitats mediados por lo biológico	Hábitat que es provisto por organismos vivos	Polinizadores
	Reciclaje de nutrientes	Almacenamiento, reciclaje y mantenimiento de nutrientes por organismos vivos	Ciclo del carbono, del nitrógeno, etc.
Valor de opción de uso	Valores de uso, de opción	Uso futuro de los ecosistemas, desconocido	Reserva genética de la biodiversidad que tiene potenciales aplicaciones en biotecnología y medicina

Fuente: PNUMA 2010, Capítulo 3. Adaptado de Beaumont y otros (2006).

Adicionalmente al reconocimiento de los servicios ecosistémicos como un elemento esencial para el desarrollo y la sostenibilidad ambiental y social, hoy en día la creciente demanda de los servicios que prestan los ecosistemas (para usos múltiples), sumada a la preocupación por la valoración cada vez mayor de los mismos, está llevando a que muchas evaluaciones estén considerando características del ecosistema como su “salud” (Costanza & Mageau, 1999, Ding y otros 2008), entendiendo como ecosistema saludable aquel resiliente, es decir que tiene la habilidad de mantener su estructura (organización), función y configuración espacial a través del tiempo frente a las perturbaciones externas.

EJERCICIO 1. Identificación de servicios ecosistémicos

Teniendo en cuenta la Tabla, identifique para la región en la que potencialmente podría desarrollarse una evaluación ambiental integral, uno o dos ecosistemas, y para ellos especifique al menos dos servicios ecosistémicos asociados.



Tipo	Bien/Servicio	Ejemplos
De provisión		
De regulación		
Culturales		
De soporte		
Valor de opción de uso		

3. Integración del enfoque ecosistémico en las EAI

La aplicación del enfoque ecosistémico como estrategia integrada para la gestión del medio ambiente, y basado en el ecosistema como unidad de análisis y acción, aún está en perfeccionamiento. En parte esto se debe a la complejidad subyacente al ecosistema, en el cual se desarrollan un sinnúmero de fenómenos y relaciones que usualmente no son fáciles de establecer. Pese al reto que constituye adaptar el enfoque ecosistémico a una evaluación, este está siendo utilizado cada vez más para hacer aún más evidente el vínculo existente entre el hombre y el ambiente en el que vive. Por lo menos cinco de los principios del enfoque ecosistémico pueden ser aplicados a la hora de resolver las preguntas principales en el proceso de una EAI (Figura 2), dado que estos reconocen las interrelaciones que se presentan entre los ecosistemas y el ser humano, y ofrecen pautas para el diseño de respuestas frente a los cambios ambientales. Adicionalmente estas interacciones se refuerzan al considerar la guía operativa diseñada para la implementación del enfoque ecosistémico (Recuadro 1), la cual plantea la necesidad de enfatizar en las relaciones y procesos al interior de los ecosistemas desde un punto de vista intersectorial, postulado que está en consonancia con el marco conceptual de las EAI.

12

Más allá de la incorporación de estos principios, para desarrollar una EAI con enfoque ecosistémico es necesario concebir al ecosistema como una entidad real, delimitada en el espacio y en el tiempo, sobre la que sea posible intervenir de forma que la evaluación (objeto de este módulo) y la posterior toma de decisiones ambientales esté dirigida a la preservación o conservación a largo plazo de su integridad ecológica. Sin una delimitación espacial y temporal, los ecosistemas no pueden ser clasificados ni cartografiados, y se hace difícil una evaluación de su estado y, mucho más, una posible intervención de política o similar.

13

Figura 2. Relación entre aquellos principios del enfoque ecosistémico que aportan respuestas a las preguntas claves en el proceso de evaluación en una EAI

5 DE LOS PRINCIPIOS DEL ENFOQUE ECOSITÉMICO

- 3. Los administradores de ecosistemas deben tener en cuenta los efectos (reales o posibles) de sus actividades en los ecosistemas adyacentes y en otros ecosistemas.
- 5. A los fines de mantener los servicios de los ecosistemas, la conservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas debería ser un objetivo prioritario del enfoque por ecosistemas.
- 6. Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento.
- 7. El enfoque por ecosistemas debe aplicarse a las escalas espaciales y temporales apropiadas.
- 9. En la gestión debe reconocerse que el cambio es inevitable.

PREGUNTAS CLAVE DEL PROCESO EAI

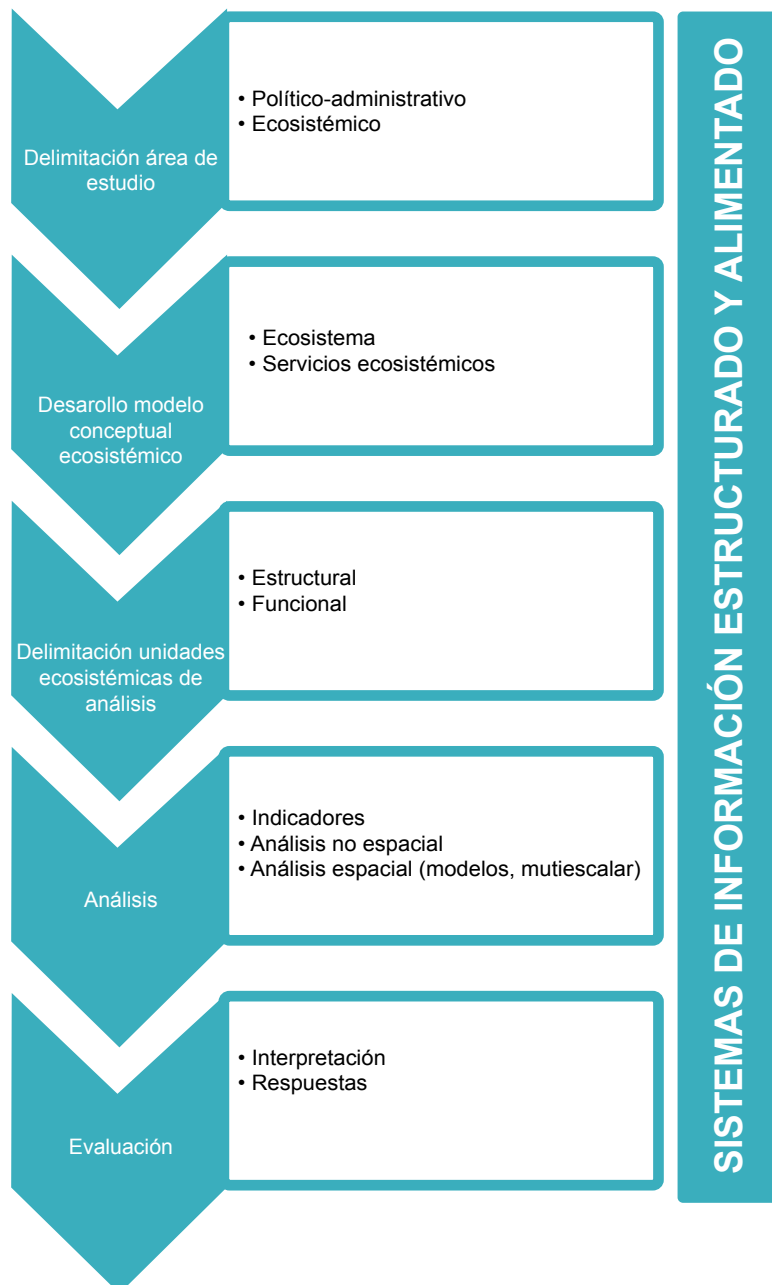
- 1. ¿Qué está sucediendo con el medio ambiente?
- 2. ¿Por qué está sucediendo esto?
- 3. ¿Cuáles son las consecuencias del estado del ambiente?

12

La implementación del enfoque ecosistémico en una EAI propuesta en este módulo se fundamenta en el uso de un modelo conceptual ecosistémico, y de los servicios ecosistémicos a evaluar. Sin embargo, antes de concebir este modelo es primordial que este tenga en cuenta el público al que va dirigida la EAI (generalmente, tomadores de decisiones), la factibilidad de llevarlo a cabo con la capacidad técnica de las instituciones participantes, las necesidades de capacitación y fortalecimiento de esas capacidades, así como el horizonte temporal previsto para el desarrollo de la EAI (Gómez y otros, sf., Módulo de capacitación 2).



Figura 3. Esquema metodológico para la incorporación del enfoque ecosistémico a las EAI



Desde el punto de vista metodológico (Figura 3), una de las mayores premisas a tener en cuenta en la implementación de este modelo en una EAI es que los ecosistemas tienen expresiones tangibles en forma de elementos estructurales y/o funcionales que deben ser identificados y medidos de alguna forma en un espacio geográfico (área de estudio) que ha sido definida previamente con criterios político administrativos o ecológicos.

Dentro de esta área de estudio es que se identificarán y delimitarán las unidades ecosistémicas de análisis, bien sea con criterios de tipo estructural o funcional. Estas unidades serán alimentadas con información (atributos, datos e indicadores) suficiente, oportuna y precisa que permita desarrollar los análisis correspondientes. Estos análisis permitirán interpretar y dar respuesta a las tres preguntas que fundamentan un proceso de EAI. Es importante resaltar que para que el proceso de la EAI sea exitoso, este debe contemplar la estructuración, desarrollo e implementación de un sistema de información (geográfica y no geográfica) que facilite los procesos de levantamiento, sistematización, estandarización, acceso, manejo y publicación de información. Este sistema de información, cuyos fundamentos se detallan en el Módulo de capacitación 4 de este Manual (Van Woerden y otros, sf.) debe ser transversal a todas las actividades de la EAI.

3.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

15

En general, las EAI de carácter sub-global suelen desarrollarse en territorios delimitados mediante fronteras político-administrativas, como es el caso de América Latina y el Caribe, organizaciones sub-regionales (CARICOM, CAN, CCAD, MERCOSUR), países o ciudades específicas. En estos casos, la definición del **ámbito geográfico** resulta ser expedita, dada la relativa estabilidad y aceptación de estos límites. Incluso, algunas EAI de carácter temático como la serie GEO Brasil y el GEO Salud suelen regirse por límites de este tipo.

Sin embargo, algunas de estas EAI pueden surgir de la necesidad de evaluar un ecosistema o un servicio ecosistémico específico como la provisión de alimento, la provisión de agua o la captura de carbono. En estos casos podrían resultar útiles criterios de tipo **biogeográfico** (como en el caso del Global Deserts Outlook o del **ámbito ecológico** empleado en el GEO Amazonia), **hidrográfico** (cuenca del Amazonas en el caso de GEO Amazonia, véase el Recuadro 2) o **funcional** (áreas en función de su producción primaria bruta). Y aunque este enfoque diferencial puede parecer inconveniente a la hora de abordar una EAI por las discrepancias geográficas, podría ser oportuno y provechoso para la comprensión de algunos procesos que sólo pueden entenderse dentro de límites específicos. Sin embargo, la decisión sobre la adopción de una o varias áreas de estudio en una EAI debe ser tomada en consenso entre las instituciones participantes, y pensando siempre en la conveniencia del proceso.

Recuadro 2. Las “Amazonías” tras el GEO Amazonía

GEO Amazonia, proceso liderado por el PNUMA y la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), reconoció que debido a la complejidad del territorio denominado Amazonia no era posible abordar su evaluación con un solo ámbito geográfico de estudio. Por esta razón, para el análisis de los componentes biodiversidad, bosques y recursos hídricos y ecosistemas acuáticos se identificaron dos límites diferentes: uno con criterio ecológico y otro con criterio hidrográfico. Para el primer criterio se empleó información ecológica y biogeográfica, y para el segundo la división hidrográfica extraída de, por ejemplo, HydroShed (USGS/WWF).



Amazonía de acuerdo con criterio ecológico (Fuente: GEO Amazonía, PNUMA-OTCA 2009)



Amazonía de acuerdo con criterio hidrológico (Fuente: GEO Amazonía, PNUMA-OTCA 2009)

Incluso, desde el punto de vista político-administrativo, la Amazonía contemplada en esa EAI corresponde a porciones o la totalidad de cada uno de los ocho países pertenecientes a la OTCA, para la cual se emplearon criterios que no corresponden en todos los casos a unidades político-administrativas definidas.

Continuación Recuadro 2.



Amazonía con criterio político-administrativo (Fuente: GEO Amazonía, PNUMA-OTCA 2009)

Finalmente, estos tres límites de la Amazonía fueron combinados en uno solo, para constituir la denominada Amazonía Mayor, que comprende un área total cercana a las 8.200.000 ha.



Amazonía mayor, como combinación de los criterios ecológico, hidrológico y político-administrativo.

3.2. DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL ECOSISTÉMICO

16

Para llevar el concepto de ecosistema a una aplicación práctica en el proceso de una evaluación ambiental para un área de estudio definida, es esencial que el o los ecosistemas presentes en dicha área sean entidades tangibles y posean estructura. Además de la estructura es deseable comprender el funcionamiento del o los ecosistemas y, para tal efecto, resultan de utilidad los factores (entidades que de alguna forma activan una interacción en un sistema) que determinan los procesos (acción resultante de la influencia de varios factores). Factores y procesos pueden

derivar en patrones específicos por cada ecosistema (rasgos o configuraciones repetitivas espaciales o temporales) y determinar su integridad ecológica (Fisher, 1994).

Para incorporar los ecosistemas en este marco conceptual se debe realizar a priori un **listado de servicios ecosistémicos** asociados con el o los ecosistemas que van a ser analizados. Adicionalmente, es deseable identificar también preliminarmente las variables de estado, identificar las fuerzas motrices, las presiones y los impactos resultantes (Recuadro 3).

Para poder dimensionar el **modelo conceptual ecosistémico**, es totalmente recomendable y necesario darle al marco conceptual FMPEIR una escala espacial y temporal definida, que puede ser **multiescalar** y **multitemporal** si así es considerado pertinente (Recuadro 4). En este modelo deberían idealmente señalarse las interconexiones entre los componentes del ecosistema (o de la función del ecosistema que interese más), la fuerza y direccionalidad de esas relaciones y los atributos que caracterizan al ecosistema (**Recuadro 4**). El modelo debe mostrar cómo funciona el sistema con un énfasis especial en la respuesta anticipada que este podría tener ante una presión determinada. Es importante tener en cuenta que la detección de cambios y reconocimiento de aquellos significativos es difícil debido a que los sistemas naturales son complejos, poseen una dinámica inherente y son espacialmente heterogéneos. Idealmente el modelo debería también indicar las vías por las cuales el sistema se ajustaría ante perturbaciones de tipo natural y cuales atributos del ecosistema son fundamentales y proporcionan resiliencia ante estas.



Recuadro 3. Ejemplo e identificación de servicios ambientales en la Evaluación sub global del Milenio de la región cafetera en Colombia (Armenteras y otros 2005)

	Categoría	Tipo e indicador
Servicios ecosistémicos	De soporte	BIODIVERSIDAD: Área y distribución de ecosistemas (80s y 2001) Diversidad de Ecosistemas (80s-2001) Área con cultivo de café con sombra Inventarios de especies (ej aves) SUELO: Grado de Erosión
	De provisión	ALIMENTO Producción café Producción agrícola y ganadera AGUA: Índice déficit hídrico
	Cultural	ECOTURISMO Número de visitantes por año a granjas ecoturísticas Número de visitantes a parques nacionales y reservas

	Categoría	Tipo e indicador
Impulsores directos (Presiones)	Cambio del uso de la tierra	Deforestación (80's - 2001)
	Factores fitosanitarios	Cambio de cobertura (80's - 2001) Área afectada por roya (<i>Hemileia vastatrix, hongo</i>) Área afectada por broca (<i>Hyphotenemus hampei, plaga</i>)
Impulsores indirectos (Fuerzas motrices)	Factores demográficos	Número de habitantes Densidad de población rural y urbana Crecimiento población
	Factores económicos	Porcentaje de área de cultivos en café Número de unidades productoras de café Producción anual de café Índice de actividad económica Producto interno bruto (nacional y por sector)
	Factores sociales y políticos	Número de asociaciones e instituciones medio ambientales
Bienestar Humano (Impacto)	Calidad de vida de la población Seguridad económica	Índice de calidad de vida Educación, tasa analfabetismo Actividad económica per cápita Distribución de ingresos y distribución de la tierra (índices GINI) Necesidades básicas insatisfechas Población por debajo de la línea de pobreza

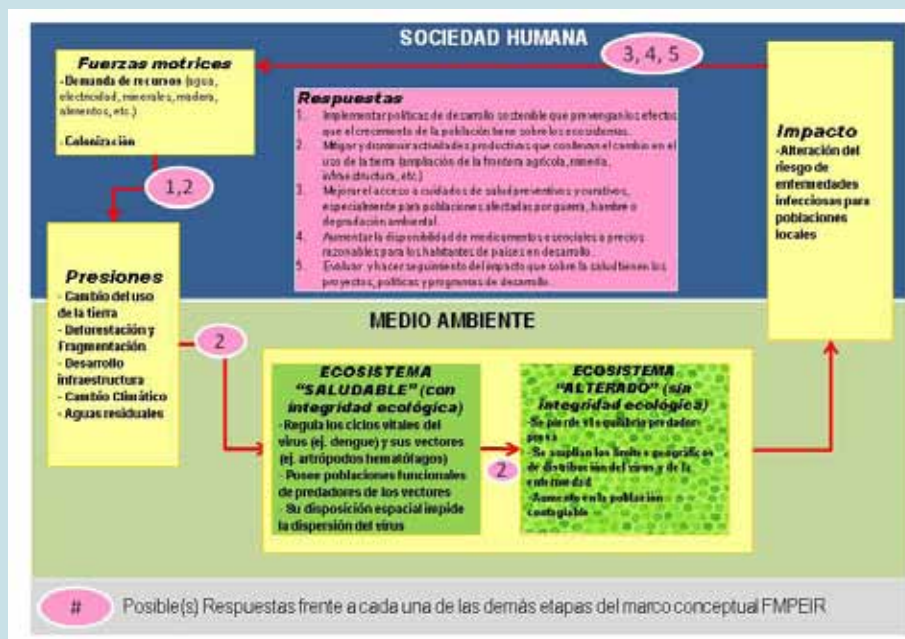
Recuadro 4. Posible marco conceptual FMPEIR para análisis de los servicios ecosistémicos para la Amazonía. Adaptado de MA (2005) y UNEP (2007).

18



En principio, el modelo debe estar dirigido a ilustrar los umbrales aceptables o, por lo menos, esos patrones normales de variación de los componentes del sistema, con el objetivo de identificar los procesos ecológicos fundamentales, los servicios ecosistémicos relevantes y encontrar unos indicadores que sean predecibles sobre las condiciones de la variación natural. Los valores observados de dichos indicadores deberían analizarse en el contexto de la variación natural del modelo ecosistémico establecido, con el fin de reconocer si el valor del indicador efectivamente está asociado a un cambio significativo en el estado del ecosistema, en lugar de una variación natural en el estado de un sistema vivo (Noon, 2003).

Recuadro 5: Ejemplo de desarrollo de un modelo ecosistémico y análisis de un servicio ecosistémico bajo el marco conceptual FMPEIR: regulación de enfermedades, caso del Dengue.



19

EJERCICIO 2. Los servicios ecosistémicos en el marco conceptual FMPEIR (fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta)



A partir del marco conceptual FMPEIR presentado en el recuadro 4, y para uno de los ecosistemas identificados (con sus respectivos servicios), indicar las posibles fuerzas motrices, presiones, impactos y respuestas asociados a dichos ecosistemas.

35

Ecosistema:				
Servicio identificado:				
Fuerza Motriz	Presión	Estado	Impacto	Respuesta

3.3 DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES ECOSISTÉMICAS DE ANÁLISIS

20

Después de tener delimitado el ámbito geográfico de una EAI, el paso siguiente debería ser la identificación de unidades diferenciables, y aquí el enfoque ecosistémico es de suma utilidad. Dado que el ecosistema se trata de una entidad estructural y funcional que aglutina elementos físicos y bióticos y que incluye al hombre como un elemento constituyente, la delimitación de ecosistemas dentro del área de estudio de una EAI podría ser la mejor estrategia, tanto para la recolección y el análisis de información como para la definición de acciones para responder a situaciones ambientales específicas.

Dependiendo del modelo conceptual ecosistémico diseñado, del tamaño del área de estudio, de su complejidad ambiental, es necesario incluir en la delimitación criterios que capturen la diversidad ecosistémica del territorio pero que no estén acordes con la escala geográfica de análisis.

Tradicionalmente, las unidades ecosistémicas basadas en criterios estructurales (clima, suelos, fisionomía de la vegetación, fisiografía, etc.) han sido las más empleadas para la subdivisión del área de estudio de una EAI, dado que los mayores avances en el levantamiento de información y el conocimiento a nivel ecosistémico se han dado en estos campos (**Recuadro 6**).

En ámbitos como el de América Latina y el Caribe, los sistemas de clasificación de tipo estructural que se han empleado apelan a rasgos ambientales generales, como es el caso de los **biomas** (Walter, 1980), las **ecorregiones** (Dinerstein, 1995), los **sistemas ecológicos** (Josse y otros 2003) o las **zonas de vida de Holdrige**. Estos esquemas basados en **condiciones estructurales** de los ecosistemas identifican y determinan las unidades con base en criterios climáticos (latitud y régimen de precipitación), origen geológico, suelo dominante, etc., los cuales determinan la existencia de una vegetación propia y una fauna asociada.

A medida que las áreas de estudio disminuyen de tamaño, es deseable y muchas veces posible, aumentar la escala (esto es, trabajar con mayor detalle). Al hacerlo, pueden incluirse criterios

adicionales como la cobertura y el uso del suelo, la biogeografía, la hidrografía, la geomorfología, etc. Se dispone de ejemplos de la incorporación de estos criterios a escala sub-continental y nacional, como en el caso de América Central (Vreugdenhil y otros 2002), Ecuador (Sierra, 1999) y Colombia (Ideam y otros 2007).

Biomás, ecorregiones, sistemas ecológicos, ecosistemas o cualquiera sea el término empleado para la delimitación de unidades de análisis con criterio estructural en un área específica en el marco de una EAI, estas serán las unidades sobre las cuales se llevarán a cabo los diagnósticos, análisis y se planificarán las acciones que conduzcan a la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas.

Recuadro 6. Ejemplos de unidades ecosistémicas de análisis de tipo estructural

La evaluación “*Perspectivas de la Biodiversidad en Centroamérica 2003*” decidió emplear como unidades ecosistémicas de análisis una derivación de las zonas de vida de Holdridge. Para tal efecto recopilaron la información que cada uno de los 7 países evaluados poseía a este respecto. Esta fue homologada y recategorizada; e integrada con otras dos variables: la presencia o no de períodos secos y la condición de los suelos. Esta cartografía, con más de 70 unidades, fue generalizada a 16 grandes ecosistemas de América Central, clasificación que fue empleada para la evaluación de biodiversidad de la región.



20

Grandes ecosistemas de América Central (Fuente: *Perspectivas de la Biodiversidad en Centroamérica 2003*)

Continuación Recuadro 6. Ejemplos de unidades ecosistémicas de análisis de tipo estructural

Otro de los enfoques de tipo estructural implementados como unidades de análisis en una EAI, y que incluye algunos de los componentes ecosistémicos, es el empleado por el GEO Brasil Recursos Hídricos. En este caso, la categorización corresponde a regiones hidrográficas, entendidas como “un espacio territorial brasileiro comprendido por una cuenca, grupo de cuencas o subcuencas hidrográficas continuas, con características naturales, sociales o económicas homogéneas, con el propósito de orientar, planificar o administrar los recursos hídricos”. Las 12 unidades identificadas fueron empleadas para analizar, de forma sintética, la disponibilidad, el uso y los conflictos por el agua, favoreciendo una evaluación comparada para el país.



Regiones hidrográficas y división político-administrativa de Brasil (Fuente: GEO Brasil Recursos Hídricos)

Pese a que la determinación de unidades ecosistémicas de análisis basadas en criterios estructurales han sido ampliamente utilizadas en este tipo de evaluaciones, éstas también deberían apoyarse en criterios funcionales con el fin de capturar ciertas fuentes de variación que no son detectadas por, por ejemplo, el tipo de cobertura del suelo. Técnicas desarrolladas en la última década, derivadas del uso de, entre otros, de sensores remotos, han permitido la medición

directa de ciertos atributos funcionales como la evapotranspiración y la productividad primaria, que están directamente asociados a servicios ecosistémicos como la regulación del ciclo del agua, del carbono, etc. Dada la creciente disponibilidad de información proveniente de sensores remotos y los avances en su tratamiento y análisis, hoy es posible generar cartografía de tipos funcionales de ecosistemas, e incorporar alguno de estos criterios funcionales a las categorías estructurales que ya se hayan desarrollado para un área específica, con el fin de contar con unidades de análisis adecuadas para el fenómeno de interés, como puede serlo un servicio ecosistémico (Paruelo, 2001; Fernández & Piñero, 2008; Paruelo, 2008). El Recuadro 7 ofrece un par de ejemplos de la aplicación de información derivada de sensores remotos (en este caso índices de vegetación y albedo) para la determinación de unidades funcionales.

Para la generación de la cartografía de las unidades ecosistémicas de análisis se hace necesaria la consecución de información espacial o espacializable, tanto básica (división político-administrativa, hidrografía, vías, etc.) como temática (modelos digitales de elevación del terreno, clima, cobertura y uso del suelo) e, incluso, información de sensores remotos (imágenes de satélite, aerofotografías). Dependiendo del ámbito geográfico y el horizonte temporal de la EAI es necesario tomar la decisión de si van a producirse nuevos productos cartográficos o si es posible trabajar con cartografía ya existente que sólo necesite ser adaptada o modificada (Módulo de capacitación 4 de este Manual, Van Woerden y otros, sf.)

EJERCICIO 3. Unidades de Análisis



A. Seleccione una unidad de análisis o identifique la que considere más adecuada para su región o temática, teniendo en cuenta el enfoque ecosistémico. ¿Le resulta útil incorporar el enfoque ecosistémico en la definición de las unidades? ¿Qué desventajas presenta?

B. Del siguiente listado de unidades de análisis, indique cuál considere apropiada para su implementación:

- Cuenca hidrográficas
- Biomas
- Ecorregiones
- Actividades agropecuarias
- Delimitación de áreas políticas /administrativas
- Área de homogeneidad cultural/histórico
- Sitios prioritarios de conservación

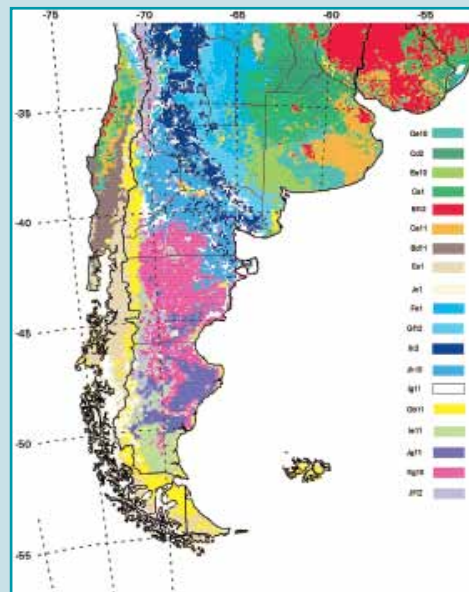
- C. De la unidad de análisis seleccionado en B), señale si son funcionales, estructurales o poseen ambas características.

- D. Identifique posibles fuentes de datos y/o instituciones que validen la unidad de análisis seleccionada

Recuadro 7. Uso de sensores remotos para la elaboración de mapas de unidades ecosistémicas funcionales

Paruelo y otros (2001) parten del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (IVN o NVDI, por sus siglas en inglés) para determinar tipos funcionales de ecosistemas en la porción templada de Suramérica. Este índice, obtenido a partir de la información de sensores remotos, permite estimar qué fracción de la radiación fotosintéticamente activa del espectro es interceptada por la vegetación y, en consecuencia, no sólo da una idea del verdor de la vegetación, sino también de su funcionamiento, entendido como productividad primaria.

Estos autores partieron de una serie temporal de imágenes del satélite NOAA- AVHRR (satélite de alta resolución temporal, con una resolución espacial de 1,1 km), de las cuales derivaron tres diferentes medidas del IVN (integral anual, rango anual relativo y fecha de máximo INVN) para establecer regiones homogéneas. Estas regiones fueron posteriormente, integradas a una cartografía de tipo estructural, en este caso la de unidades fitogeográficas de la Sudamérica templada, obteniendo así 19 diferentes tipos de ecosistemas funcionales.



Tipos funcionales de ecosistemas para la Sudamérica templada

Al involucrar en la definición de tipos funcionales una medida de la productividad primaria de los ecosistemas obtenida de manera estandarizada y con relativa facilidad, Paruelo y otros (2001) presentan una forma relativamente expedita de generar unidades ecosistémicas de análisis para una evaluación ambiental con criterios estructurales y funcionales.

Nota: NOAA-AVHRR: satélite meteorológico de la National Oceanic and Atmospheric Administration, con un sensor de aplicación a áreas terrestres denominado AVHRR –Advanced Very High Resolution Radiometer).

NDVI ó IVN: El cociente ó índice de vegetación suele variar entre -1 y +1, cuanto mayor sea el resultado, mayor vigor vegetal de la zona observada. El umbral crítico para cubiertas vegetales se suele asignar un valor de ND un valor en torno a 0,1 y para vegetaciones densas entre 0,5 y 0,7 (Chuvieco 2002)

Fuente: Paruelo y otros 2001

3.4 HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

3.4.1 ANÁLISIS NO ESPACIAL

En términos generales se puede decir que no existe una única forma correcta de analizar los datos ni de determinar el valor de un indicador o un índice, y son múltiples las posibilidades metodológicas cuantitativas y cualitativas para analizar tanto los datos básicos, como aquellos indicadores o índices que se identifiquen como claves en una EAI ecosistémica. La información de tipo cualitativo es recomendada para complementar aquella información de tipo numérico que se logre incorporar en un EAI, y es especialmente útil para incluir conocimientos y perspectivas locales que de otra forma no podría ser incorporada en las EAI. Adicionalmente, el usar conocimiento no cuantificable (o no cuantificado por dificultad técnica o por temporalidad) permite incluir análisis descriptivos del estado (basado o sustentando en algunas medidas cuantitativas o en observaciones, o apreciaciones locales) y las tendencias de diferentes servicios ecosistémicos de forma que proporcione los primeros elementos de alerta temprana en una EAI.

Como ejemplo de esta aproximación y del valor agregado para una EAI, la Figura 4 ilustra como en el informe GEO 4 se hizo una aproximación cualitativa de la relación entre los cambios en el estado del ambiente acuático y el impacto en el medio ambiente y en el ser humano (UNEP 2007). Las flechas apuntan hacia arriba o hacia abajo dependiendo del impacto que el cambio ambiental tiene sobre los componentes del bienestar humano (aumento o disminución en cantidad o calidad de los recursos), y los colores están asociados a metas específicas de los Objetivos del Milenio. En contraposición, el **Recuadro 8** ejemplifica algunos de los usos analíticos de datos numéricos que han sido empleados en procesos de EAI.

21

Figura 4. Ejemplo de análisis cualitativo de cambios en el estado del ambiente y su relación con el ser humano

Ecosistemas acuáticos	Presiones	CAMBIOS DE ESTADO SELECCIONADOS	EL IMPACTO EN EL BIENESTAR HUMANO			
			Salud del ser humano	Seguridad alimentaria	Seguridad física	Socio-económico
Ecosistemas de interior						
Ríos, corrientes de agua y llanuras aluviales	<ul style="list-style-type: none"> Regulación del caudal por medio del represamiento y el retiro de agua por evaporación Eutrofización Contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Período de alojamiento de agua dulce ↑ Fragmentación de los ecosistemas ↑ Alteración de la dinámica entre el río y la llanura aluvial ↑ Alteración de la migración de peces ↑ Proliferación de algas azul-verdoso 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Cantidad de agua dulce ↓ Depuración y calidad del agua ↑ Repercusiones de algunas enfermedades de origen hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Poblaciones de peces costeras y de interior 	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Protección contra inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Turismo ↓ Pesca a pequeña escala ↑ Pobreza ↓ Medios de vida
Lagos y embalses	<ul style="list-style-type: none"> Relleno y drenaje Eutrofización Contaminación Sobrepesca Especies invasoras Cambios provocados por el calentamiento global en propiedades físicas y ecológicas 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Hábitat ↑ Proliferación de algas ↑ Condiciones anaeróbicas ↑ Especies de peces exóticas ↑ Jacinto de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Depuración y calidad del agua 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Población de peces en el interior 		<ul style="list-style-type: none"> ↓ Pesca a pequeña escala ↑ Desplazamiento de comunidades humanas ↓ Turismo ↓ Medios de vida
Lagos estacionales, pantanos, ciénagas, marjales y fangales	<ul style="list-style-type: none"> Conversión por medio de relleno y drenaje Cambios en el régimen de caudales Cambios en el régimen de incendios Pastoreo excesivo Eutrofización Especies invasoras 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Hábitat y especies ↓ Caudal y calidad del agua ↑ Proliferación de algas ↑ Condiciones anaeróbicas ↑ Amenazas a especies indígenas 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Reposición del agua ↓ Depuración y calidad del agua 		<ul style="list-style-type: none"> ↑ Frecuencia y magnitud de las inundaciones repentinas ↓ Reducción de las crecidas ↓ Reducción de la sequía 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Inundaciones, sequía y efectos protectores relacionados con el caudal de agua ↓ Medios de vida

Recuadro 8. Uso de datos no espaciales en una EAI. Ejemplo, número de especies por grupo biológico reportado por país y por región amazónica (Fuente: GEO AMAZONIA 2009)

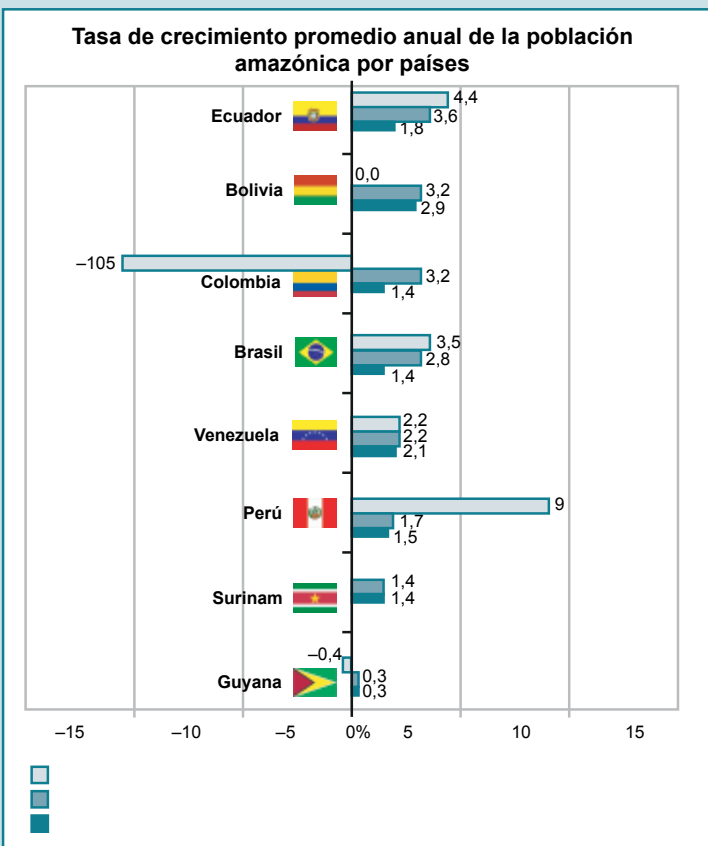
En muchos procesos EAI también se pueden compilar datos que sean cuantitativos, como por ejemplo estadísticas nacionales, pero que no tengan una ubicación espacial definida, los denominados datos no espaciales. Casi siempre estos datos pueden ser utilizados cuando no hay disponible otra fuente de información que sea espacial y siguen aportando información importante para evaluar un servicio ecosistémico de soporte como por ejemplo la biodiversidad a nivel de número de especies por grupos reportados para los países de la Amazonia. Esta información no es espacial y en muchos casos no es ni siquiera posible identificar el número de especies del total nacional que correspondería a la porción amazónica de cada país. No obstante son datos que ilustran de forma muy sencilla las potencialidades de cada uno de los países en términos de biodiversidad.

Número de especies por grupos reportados en los países de la Amazonia

PAÍS	Plantas Total / Amazonia	Mamíferos Total / Amazonia	Aves Total / Amazonia	Reptiles Total / Amazonia	Anfibios Total / Amazonia
Bolivia	20.000 / nd	398/ nd	1.400/ nd	266/ nd	204/ nd
Brasil	55.000 / 30.000	428 / 311	1.622 / 1.300	684 / 273	814 / 232
Colombia	45.000 / 5.950	456 / 85	1.875 / 868	520 / 147	733 / nd
Ecuador	15.855 / 6249	368 / 197	1.644 / 773	390 / 165	420 / 167
Guyana	8.000/ nd	198/ nd	728/ nd	137/ nd	105/ nd
Perú	35.000/ nd	513/ 293	1.800/ 806	375/ 180	332/ 262
Surinam	4.500/ nd	200/ nd	670/ nd	131/ nd	99/ nd
Venezuela	21.000/ nd	305/ nd	1.296/ nd	246/ nd	183/ nd

nd No disponible para la Amazonia. (Fuente: GEO AMAZONIA 2009).

Fuentes: Castaño (1993) en <http://www.otca.org.br/publicacao/SPT-TCA-PER-31.pdf>; Rueda-Almonacid y otros (2004); Mojica y otros (2004); Ecociencia, Ministerio del Ambiente (2005); Ibsich & Mérida (2004); FAN (s.f.). Brasil: www.SBherpetologia.org.br (para total Brasil) Ávila-Pires.T.C.S.Ms. Hoogmoed y Lj Vitt (2007). "Herpetofauna da Amazônia". En: L.B. Nascimento y M.E. Oliveira (eds). Herpetología do Brasil II. Sociedade Brasileira de Herpetologia: pp. 13-43. Perú. Sistema de Información de la Diversidad Biológica y Ambiental de la Amazonia Peruana (SIAMAZONÍA) en www.siamazonia.org.pe



Tasa de crecimiento promedio anual de la población amazónica por países (fuente: GEO AMAZONIA 2009) y distribución del uso del agua por regiones, GEO Brasil recursos hídricos



EJERCICIO 4. Análisis de tendencias y variables cuantitativas

- A. Con base en el modelo conceptual elaborado por usted en las secciones previas, proyecte de forma cualitativa (como la expuesta en la Figura 4) cuáles serían las tendencias en estado e impacto (dirección y magnitud) de presentarse cambios debidos a las presiones y fuerzas motrices previamente identificadas por usted.

- B. Liste variables cuantitativas que considera pertinente para su unidad ecosistémica seleccionada y asóciese las posibles fuentes de información de datos. ¿Es posible definir variables cuantitativas para cada elemento del modelo FMPEIR? ¿Le resulta fácil encontrar fuentes de información actualizadas, precisas y confiables para cada una de las variables listadas?

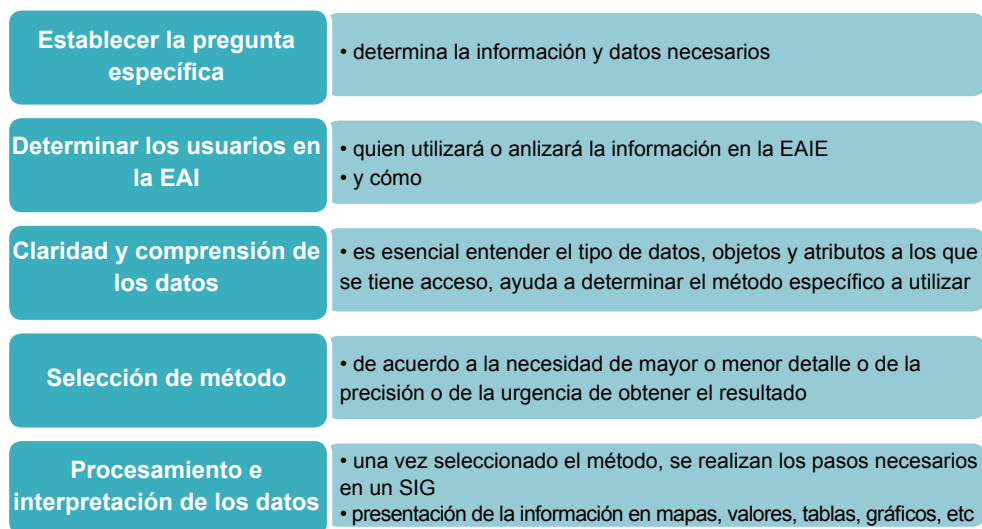
3.4.2 ANÁLISIS ESPACIAL

Los **datos espaciales** (geográficos si son georreferenciados sobre la superficie terrestre) son hoy en día una herramienta de análisis de información imprescindible en cualquier EAI. Estos datos describen por lo general la ubicación de un objeto en el mundo real, su forma y relación con otros objetos en el espacio y pueden representar diferentes fenómenos y objetos del mundo natural y ser representados por diferentes modelos de datos. En este sentido el **análisis espacial** es la esencia fundamental de los SIG (Anexo 1), al incluir todas las transformaciones, manipulaciones y métodos posibles de aplicar a los diferentes modelos de datos espaciales para darles un valor agregado, apoyar la toma de decisiones y para revelar patrones y anomalías que de otra forma no serían tan evidentes (Longley y otros, 2001).

El estudio cuantitativo de los objetos o fenómenos localizados en el espacio requiere de organización y planificación. En cualquier caso, las etapas esenciales para el análisis espacial implican en primera instancia establecer la pregunta y la información que se requiere para poder responderla (Figura 5). Posteriormente es importante determinar cómo va a ser usado y por quién, es decir, es totalmente necesario que haya capacidades técnicas para el manejo de información geográfica y de sensores remotos en el recurso humano de cualquier EAI, para poder, entre otros, comprender la estructura de los datos y manipularlos (Anexo 1). Es esencial entonces generar, si no existe, la capacidad analítica para poder argumentar y escoger el método apropiado a ser utilizado, de acuerdo con la urgencia o con la necesidad de precisión de los resultados, para finalmente ponerlo a consideración del público objetivo de la EAI (Figura 5).

En el caso de las EAI con enfoque ecosistémicos (EAIE) tanto los SIG como las técnicas de análisis espacial pueden utilizarse en la mayoría de las etapas del proceso: en primera instancia en la definición de unidades de análisis (ver Recuadro 2), en la estructuración, categorización y homologación de información (ver Recuadro 6), y en el análisis de interrelaciones identificadas en el modelo conceptual del ecosistema estudiado (Recuadro 8).

Figura 5. Etapas esenciales a tener en cuenta para realizar un análisis espacial en una EAI



Sin ninguna duda, la mayoría de los sistemas en el mundo natural presentan una heterogeneidad ecológica fundamental para la estructura y la dinámica de los ecosistemas, cuya característica es la presencia de una alta variabilidad espacio-temporal (Levin 1992). Esta variabilidad se encuentra asociada también a las poblaciones y las comunidades, quienes exhiben un cierto patrón espacial de distribución y agregación de los individuos ya sea a través de parches, gradientes ambientales u otras clases de estructuras espaciales (Legendre y Fortin 1989, Dutilleul, 1993) y se constituyen en un atributo ecológico importante de los ecosistemas (Legendre 1993).

Uno de los temas que ha surgido en los últimos años es la necesidad de integrar datos sociales y económicos en los modelos del paisaje espacialmente explícitos (Perry y Enright, 2006) teniendo en cuenta los conceptos de escalas espaciales y temporales conjuntamente con variables abióticas y bióticas (Merterns y Lambin, 1999; Moran y otros, 2000; Read y otros 2001). Algunas aproximaciones estadísticas buscan relacionar las interacciones espaciales con los impulsores de cambio directo en los ecosistemas (Serneels y Lambin 2001; Nagendra y otros 2003). Existen numerosos métodos y técnicas de análisis espacial de acuerdo con la necesidad planteada, por ejemplo un subdisciplina del análisis espacial es el análisis de datos espaciales con técnicas comúnmente utilizadas de visualización, para mostrar patrones espaciales; de exploración de datos espaciales (Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) para encontrar patrones, o técnicas de modelación espacial, para explicar patrones de distribución espacial. Por supuesto existen otras formas de clasificar las posibles técnicas de análisis espacial a aplicar en datos espaciales (Longley y otros 2001): a) de consulta; b) medición; c) transformación; d) resúmenes descriptivos;



e) optimización y f) test de hipótesis. Lo importante de las numerosas técnicas existentes para el análisis de datos espaciales es reconocer que existen y evaluar cuál es la más útil de acuerdo con los requerimientos específicos de cada EAI.

En el caso de las EAI, tanto los SIG como las técnicas de análisis espacial pueden utilizarse en la mayoría de las etapas del proceso: en primera instancia en la definición unidades de análisis, en la estructuración, categorización y homologación de información y por supuesto en el análisis de interrelaciones identificadas en el modelo conceptual del ecosistema estudiado.

3.4.3 ANÁLISIS MULTIESCALAR

En la actualidad existe un considerable número de modelos que interrelacionan el estado del ambiente con aspectos de orden antrópico, los cuales tratan de hacer explícitas las diferencias que se presentan en las diferentes escalas espaciales y temporales (Nelson y otros, 2006; Deininger & Minten, 1996; Merterns & Lambin, 1999). Para tal efecto, se han incorporado un conjunto de aproximaciones estadísticas cuyo objetivo es vincular la realidad espacial de los ecosistemas con las presiones que se ejercen sobre ellos (Sermeels & Lambin, 2001; Nagendra y otros, 2003), con el objetivo de detectar aquellas variables antrópicas que explican el estado del ambiente. Y dado que estas variables antrópicas pueden operar a múltiples escalas, lo que se consigue es un vínculo a la escala específica de la variable ambiental de interés (Goldstein, 1999). El análisis a múltiples escalas ha sido abordado por iniciativas de monitoreo y evaluación ecosistémica, como la red de monitoreo a largo plazo en sistemas terrestres (Nolimits 2000) y el Millenium Ecosystem Assessment (MA, 2005).

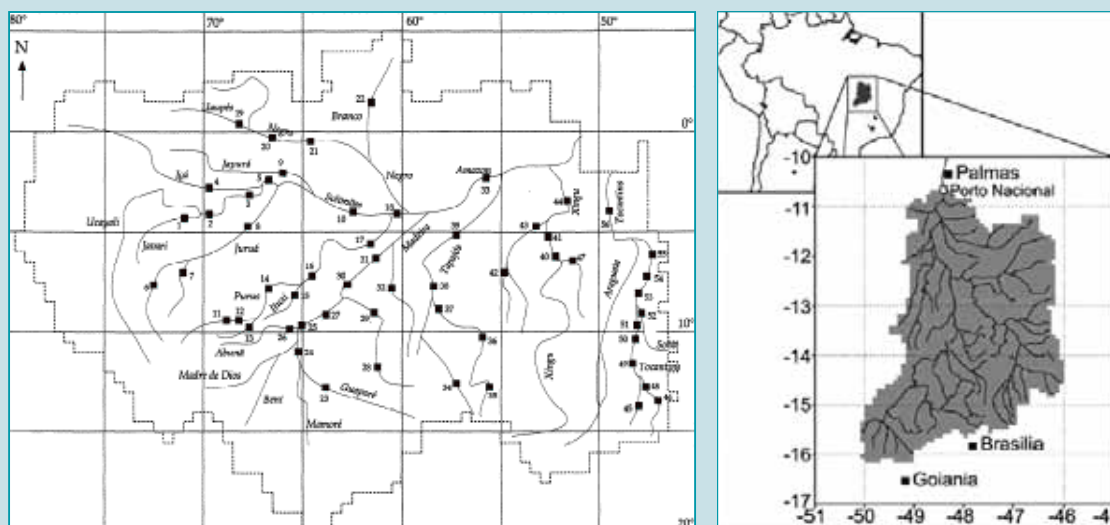
Un ecosistema consiste de una variedad de procesos y elementos que existen en múltiples escalas espaciales y funcionan a diversas escalas temporales. Para un ecosistema en particular, los principales procesos ecológicos, expresados en muchos casos como elementos estructurales o de composición pueden ser mapeados y medidos a escalas locales y regionales. Los atributos que puedan ser medidos, deben ser estudiados a diferentes escalas, por ejemplo a escala del paisaje es posible medir la estructura forestal en términos del número, tamaño y distribución de los fragmentos de cierto tipo de vegetación, que pueden ser diferentes en términos de composición y configuración. A escala local, por ejemplo, la estructura se mediría en términos de la distribución de los tamaños de los árboles o distribución por edades de individuos de una población característica o indicadora de ese bosque. En otro ejemplo, información de escalas menores sobre el funcionamiento de un ecosistema puede ser extrapolado a escalas mayores (Recuadro 9) o el análisis de la oferta y la demanda de un servicio puede ser evaluada a diferentes escalas (**Recuadro 10**).

Recuadro 9. Servicio ecosistémico de los bosques amazónicos: regulación del flujo de agua, evidencia del efecto de la deforestación a múltiples escalas (Foley y otros, 2007)

Estudios a nivel de pequeñas cuencas demuestran que cuando una presión como la deforestación aumenta, se incrementa la escorrentía (runoff) y las descargas en afluentes, por ejemplo en el este de Amazonia, se encontró una asociación de hasta un incremento de un 25% en la descarga del río con el cambio en la cobertura vegetal en la cuenca del río Tocantins (Figura A y B: Costa y otros 2003). A escalas menores, el uso de modelos matemáticos fue aplicado por Costa y

Foley (1997) para analizar los efectos de la deforestación sobre el balance hídrico de toda la cuenca Amazónica, mostrando que en promedio puede haber una alteración de hasta el 20% en la escorrentía y las descargas en afluentes. A nivel individual, algunas de las subcuencas mostraron una variación entre el 5 hasta el 45% dependiendo del clima, la composición de las aguas, la ubicación de la cuenca y la vegetación original.

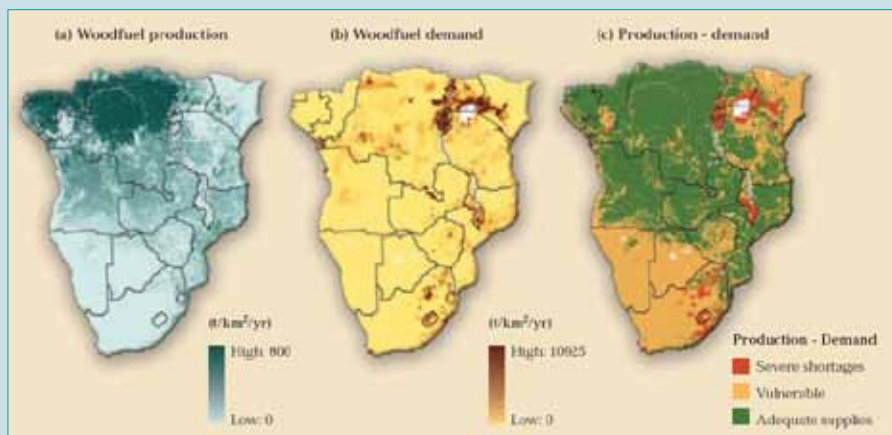
Figura A y B. Ubicación de las estaciones a partir de la cual se realizó el modelo para la cuenca (Costa y Foley 1997) y área de estudio local Rio Tocantins (Extraído de Costa y otros 2003. Journal of Hydrology 283 (2003) 206–217.



Recuadro 10. Ejemplo de análisis espacial multiescalar para análisis de oferta y demanda de un servicio ecosistémico

La Evaluación subglobal del milenio para sur África calculó la diferencia entre oferta y demanda de leña con una aproximación multiescalar calculando la oferta basándose en datos satelitales y climáticos a una resolución de 5x5 km y la demanda con una función promediando consumo con datos de temperatura y de disponibilidad de leña. (Fuente: Manual “Evaluación de Ecosistemas y Bienestar Humano: una guía del proceso, 2009).

22



3.4.4 USO DE INDICADORES

El análisis de datos es fundamental para realizar una EAI, pero en muchos casos es esencial la simplificación de la información para ayudar en la comprensión de realidades complejas y también simplificar los procesos de comunicación de los resultados de una evaluación a su público objetivo. Una de las estrategias para lograr esta síntesis es el uso de indicadores, dado que son variables o valores derivados de un conjunto de datos que proveen información sobre un fenómeno en muchos casos no medible directamente (OECD 1994). Los indicadores deben ser además de pertinentes dentro del marco conceptual FMPEIR de las EAI, simples, válidos, disponibles, replicables y comparables.

23

Quando nos referimos a indicadores de servicios ecosistémicos, estamos considerando que estos son indicadores que comunican eficientemente las características y tendencias de los servicios ecosistémicos de forma que sea comprensible para los tomadores de decisiones entender el estado, la tendencia y las tasas de cambio de estos servicios (WRI 2009). La selección de estos indicadores debe tener en cuenta que es importante reflejar la estructura ecológica subyacente y la función del ecosistema, claridad que proviene de tener el modelo conceptual, bien desarrollado, sobre el ecosistema o servicio ecosistémico de interés.

Otro de los aspectos a considerar en el desarrollo de indicadores es que la mayoría de indicadores de servicios ecosistémicos hasta el momento desarrollados reflejan el *flujo* de estos, es decir los beneficios que las personas reciben realmente. Indicadores que reflejen la capacidad de los ecosistemas para proporcionar los servicios o el *stock* han sido mucho menos desarrollados y están más relacionados con el concepto de integridad y salud de un ecosistema. En algunos casos se han utilizado indicadores del estado de los ecosistemas como indicador de stock de ese ecosistema dado que su estado determina la capacidad de proporcionar los servicios (ej. Extensión de un ecosistema) (WRI 2009).

Entre los **indicadores de estado** de los servicios ecosistémicos más usados es común encontrar algunos proxies cuando el servicio de interés no es posible medirlo directamente (Recuadro 11, **Tabla 2**, Anexo 2). Las mediciones o inferencias que puedan realizarse (de datos a indicadores) son afectadas por la escala temporal y espacial a la que opere el proceso o el elemento que se analice del ecosistema.

Para realizar una EAI completa se requiere analizar, además del **indicador de estado y su tendencia** en el tiempo, su relación con el contexto humano. También es necesario conocer y medir las **presiones** y las **fuerzas motrices** que afectan los ecosistemas y en algunos casos utilizar **indicadores** que sintetizan los datos que puedan obtenerse de estos factores. Las presiones pueden ser eventos o acciones de perturbación tanto natural como antrópica, tradicionalmente el marco conceptual de FMPEIR enfatiza estas últimas. Las presiones que puedan llevar a cambios perceptibles en las tasas de procesos ecológicos fundamentales variaran enormemente de acuerdo al ecosistema evaluado (Pinter y otros, sf., Módulo de Capacitación 5), pero es importante

caracterizarlas con algunos aspectos adicionales como son su *frecuencia*, *extensión*, *magnitud* (intensidad y duración), *variabilidad* y *elemento del ecosistema que afecta* (ej., productividad primaria en un bosque).

Tabla 2. Indicadores generales para evaluar el estado de servicios ecosistémicos (MA 2009) y una propuesta de posibles indicadores para la Amazonia

Clase	Servicios de los ecosistemas	Indicadores propuestos	Posibles proxies	Propuestas para la Amazonia
	Biodiversidad			Diversidad de especies Número de especies amenazadas Núm. especies extintas Área bajo protección
Provisión	Cultivos alimenticios	Rendimiento de la cosecha de productos	Superficie sembrada con cultivos	Área sembrada en arroz, café, cacao, caña de azúcar, yuca, maíz, pimienta, frutales Toneladas/año de pescado extraído para comercio
	Producción ganadera	Extracción de los animales o sus productos.	Volumen de negocios o de beneficio bruto en la carne, productos lácteos y otros sectores.	Área en pastos
	Ganadería como activos, los animales de tiro, o iconos culturales.	Livestock Biomasa (por ejemplo, unidad de ganado tropical).	Cantidad de ganado por especies.	Cabezas de ganado por/ha
	Especies aprovechables (pesca, caza).	Extracción de la especie. Poblaciones de especies.	Volumen de negocios o de beneficio bruto del sector de la pesca o la caza.	Toneladas/año de pescado y consumido localmente
	Los cultivos energéticos, incluida la leña y el carbón vegetal.	Rendimiento energético (MJ) de determinado producto primario o secundario.	% de biocarburos en la mezcla energética	Extracción de leña consumo interno
	Fibra de algodón, cáñamo, lana, seda, pasta de papel, etc.	El rendimiento de determinado producto (en toneladas).	Volumen de negocios o de utilidad bruta del sector textil o industrias de fabricación de papel	Área sembrada en algodón
	Madera	Cosecha de productos, generalmente como m3, pero también en unidades locales, tales como pies tablares o el número de polos	Volumen de negocios o de beneficio bruto del sector forestal.	Volumen de madera extraída

Módulo 10

Clase	Servicios de los ecosistemas	Indicadores propuestos	Posibles proxies	Propuestos para la Amazonia
Provisión	Agua dulce	Cantidad de agua dulce en m ³ (para los grandes los flujos, se utilizan km ³)	Uso de agua per cápita de El precio del agua Coste del agua purificación Profundidad de las aguas subterráneas	Volumen caudal de ríos (nivel del agua en m)
	Medicamentos	La cosecha de especies medicinales conocidas (de toneladas, o el número de organismos)	Número de personas que utilizan medicinas naturales	Número de especies medicinales conocidas Número de especies medicinales utilizadas tradicionalmente
Regulación	Secuestro de CO ₂	El flujo neto de CO ₂ de la atmósfera	Cambio de valores en C	Flujo neto de CO ₂ a la atmósfera
	Eliminación de N, P, S	Desnitrificación, precipitación S, fijación P	Aguas abajo NO ₃ , PO ₄ y SO ₄	NO ₃ , PO ₄ , SO ₄ en aguas abajo Reacumulación de N, P, K, Ca
	La desintoxicación de los residuos	Diferencia en la concentración de la toxina en la entrada y la secuencia de salida.	Las enfermedades atribuibles a las toxinas, la incidencia de muerte de los peces	Mediciones de Mercurio tm/año
	Protección del litoral.	La atenuación de las inundaciones costeras, la erosión y daños a la infraestructura o recursos.	Km de costa con vegetación intacta. Costo de los daños costeros.	Km de manglar
	De plagas, patógenos y malas hierbas.	Intensidad, duración y el alcance de los brotes de las especies indeseables.	Gastos de biocidas. Superficie ocupada por las especies exóticas. Número de especies exóticas.	Número de especies invasoras Número de virus y enfermedades emergentes
Culturales	Recreación y esparcimiento.	Oportunidades de recreo que ofrecen.	El volumen de negocios del sector de Turismo o la utilidad bruta, número de visitantes.	Número de visitantes a parques nacionales y reservas indígenas
	Estética	Área de paisaje	Las encuestas de opinión de visitantes Visitas a lugares de belleza	Encuestas de opinión
	Espiritual y cultural	Presencia de sitios, paisajes, o especies con significado espiritual o cultural	Número o área de los sitios importantes con estatus de protección	Número de sitios importantes
	Científicos y educativos.	Presencia o área de los sitios o especies de valor científico o educativo.	Número de visitas escolares. Número de artículos publicados.	Número de artículos publicados

24

Clase	Servicios de los ecosistemas	Indicadores propuestos	Posibles proxies	Propuestos para la Amazonia
De soporte	Captura de energía	Productividad primaria neta	NDVI	Índice de vegetación – NDVI
	Ciclo de nutrientes	Mineralización de N	Área de especies fijadoras de N	
		Mineralización del P	Micorrizas%	% micorrizas por tipos de suelo
		Disponibilidad de cationes	% saturación de bases	% saturación de bases
	Polinización	% de flores polinizadas dentro de una especie	Poblaciones de especies polinizadoras	Poblaciones de especies polinizadoras
Hábitat	Área de hábitat adecuado para una especie determinada	Áreas por tipo de vegetación Índices de fragmentación	Área por ecosistema Índice de fragmentación % área por ecosistema bajo figura protección	

(Adaptado de Capítulo 4. Manual MA)

En el manual de capacitación más reciente del MA (MA 2009) se resumen los grupos de presiones y fuerzas motrices más citados en literatura como aspectos a tener en cuenta al desarrollar un marco conceptual para analizar servicios de ecosistemas son:

Presiones (impulsores directos): cambio de cobertura y uso de la tierra (deforestación, pérdida de hábitat, desertificación, etc.), sobreexplotación de recursos naturales, especies invasoras, contaminación y cambio climático.

Fuerzas motrices (impulsores indirectos): factores demográficos (como el cambio poblacional), factores económicos, sociopolíticos, culturales y el cambio tecnológico.

Es importante también a la hora de medir indicadores de servicios ecosistémicos que se hayan reflejado en el marco conceptual de la EAI las relaciones conocidas o por lo menos supuestas de causa y efecto (fuerzas motrices, presiones, impactos) y se tenga en cuenta lo siguiente:

1. Que el indicador refleje el proceso ecológico/servicio ecosistémico estudiado y sea sensible a cambios en las presiones que se puedan ejercer.
2. Que el indicador proporcione información del estado de otros elementos del ecosistema (recursos o procesos) que no se midan directamente
3. Que demuestre tener una variabilidad natural limitada o, por lo menos, lo suficientemente comprendida, de forma que cambios no naturales en sus valores puedan ser diferenciados de aquellos que suceden dentro del rango natural de variabilidad del indicador.
4. Que sean relevantes y esté claramente establecido el vínculo o el valor de este para la sociedad.



EJERCICIO 5. Indicadores para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos

La tabla 2 y el recuadro 11 presenta una serie de indicadores (desarrollados y en desarrollo) para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos.

- A.** ¿Alguno de los allí planteados sería útil para evaluar el estado de los servicios identificados por usted para su ecosistema? De no ser así, ¿Reconoce usted alguno que pueda ser de utilidad en este caso?

37

- B.** Seleccione de la Tabla 2 o del Recuadro 11 cinco indicadores que se puedan ser aplicados a su EAI. Discuta la pertenecía de los mismos, así como la viabilidad de su estimación con base en la información disponible.

25

Recuadro 11. Resumen del desarrollo de indicadores globales por áreas temáticas del proyecto Biodiversity Partnership Indicators BIP 2010

Área Focal	Tema	Título del indicador	Estado de desarrollo
Estado y tendencias de los componentes de la biodiversidad	Tendencias en la extensión de biomas, ecosistemas y hábitats seleccionados	Extensión forestal y de tipos de bosques Extensión de hábitats	En Desarrollo En Desarrollo
	Tendencias en la abundancia y distribución de especies	Living Planet Index Global Wild Bird Indicator	Desarrollado En desarrollo
	Cobertura de áreas protegidas	Cobertura de áreas protegidas	En Desarrollo
		Superposición con biodiversidad	En Desarrollo
	Efectividad de manejo	En Desarrollo	
Cambio en el estado de las especies amenazadas	Red List Index	Desarrollado	
tendencias en diversidad genética	Colecciones Ex situ de cultivos Diversidad genética de especies terrestres domesticadas	En desarrollo	
Uso Sostenible	Áreas bajo manejo sostenible	Área forestal bajo manejo sostenible: certificación	Desarrollado
		Área forestal bajo manejos sostenibles: degradación y deforestación	En desarrollo
		Área de ecosistemas agrícolas bajo manejo sostenible	En desarrollo

Área Focal	Tema	Título del indicador	Estado de desarrollo
Uso Sostenible	Proporción de productos derivado de uso sostenible	Estado especies en comercio Wild Commodities Index	Desarrollado En desarrollo
	Huella ecológica y conceptos relacionaos	Huella ecológica	En desarrollo
Amenazas a la Biodiversidad	Deposición de nitrógeno	Deposición de nitrógeno	Parcialmente desarrollado
	Especies invasoras	Tendencias en especies invasoras	Desarrollado
Integridad ecosistémica y bienes y servicios ecosistémicos	Índice trófico marino	Índice trófico marino	Desarrollado
	Calidad del agua de ecosistemas acuáticos de agua dulce	Indicador de calidad de agua	Desarrollado
	Integridad trófica de otros ecosistemas		En desarrollo
	Conectividad y fragmentación de ecosistemas	Fragmentación forestal Fragmentación de ríos y regulación de caudal	En desarrollo
	Incidencia de fallas en el ecosistema inducidas por el hombre		En desarrollo
Integridad ecosistémica y bienes y servicios ecosistémicos	Salud y bienestar de las comunidades	Salud y bienestar de las comunidades directamente dependientes de los bienes y servicios de los ecosistemas	En desarrollo
	Biodiversidad para alimento y medicina	Estatus nutricional de biodiversidad* Biodiversidad para alimento y medicina	En desarrollo
Estado de conocimiento tradicional, innovación y practicas	Estado y tendencias de diversidad lingüística & número de personas que hablan lenguas indígenas	Estado y tendencias de diversidad lingüística & número de personas que hablan lenguas indígenas	En desarrollo
	Otros indicadores		En desarrollo
Estado del acceso y repartición de beneficios	Estado del acceso y repartición de beneficios		Por definirse
Estado de transferencia de recursos	Transferencia de recursos		En desarrollo

Consulta 23 de septiembre 2009. <http://www.twentyten.net/Indicators/tabid/59/Default.aspx>



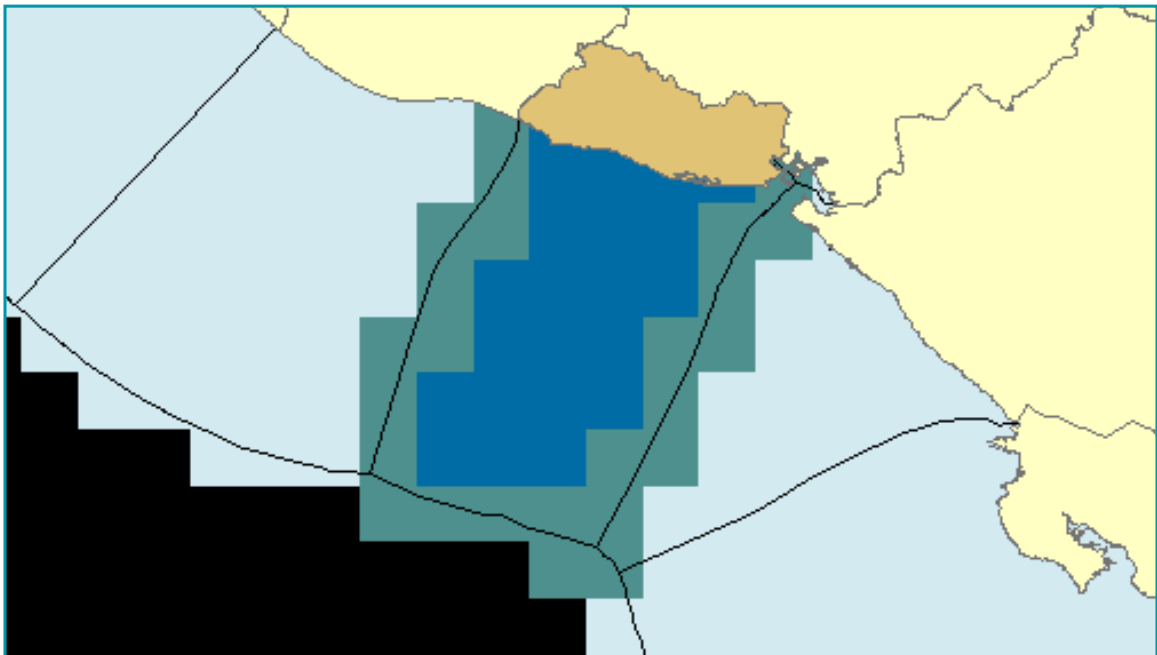
EJERCICIO 6. Comprendiendo los indicadores para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos

A la fecha, la Biodiversity Indicators Partnership ha desarrollado un conjunto de indicadores para:

- Situación y tendencias de los componentes de la diversidad biológica
- Utilización sostenible
- Amenazas a la diversidad biológica
- Integridad de los ecosistemas y bienes y servicios del ecosistema
- Situación de los conocimientos, innovaciones y prácticas tradicionales
- Situación del acceso y participación en los beneficios
- Situación de las transferencias de recursos

Para el ámbito de INTEGRIDAD DE LOS ECOSISTEMAS Y BIENES Y SERVICIOS DEL ECOSISTEMA, la BIP posee 7 indicadores, dos de ellos desarrollados: el índice trófico marino y la calidad de agua de ecosistemas acuáticos de agua dulce.

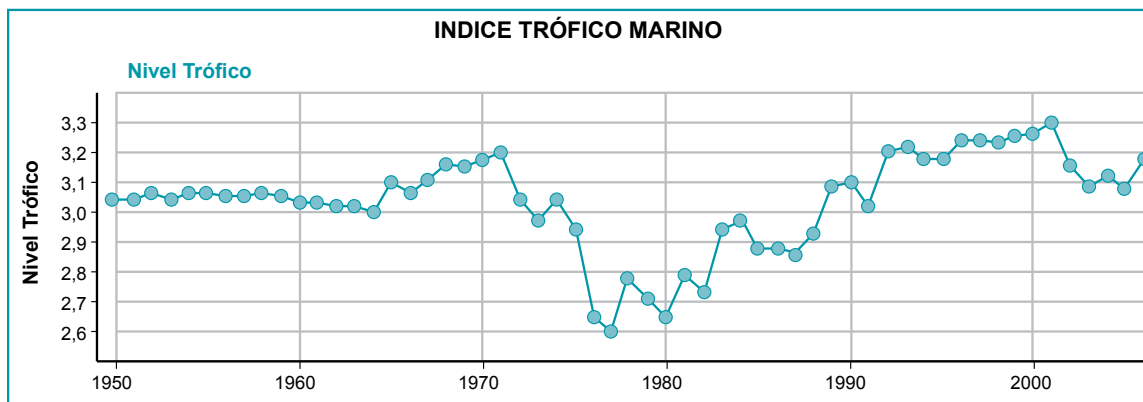
La organización Sea Around Us (<http://www.searoundus.org/>) ha calculado el índice trófico marino para todas las zonas económicas exclusivas, incluyendo la de El Salvador ¹.



¹ <http://www.searoundus.org/eez/222/200.aspx>

Datos multianuales del índice trófico marino para la zona económica exclusiva de El Salvador

Año	Índice Trófico Marino	Año	Índice Trófico Marino	Año	Índice Trófico Marino
1950	3.03	1970	3.15	1990	3.08
1951	3.03	1971	3.18	1991	3.00
1952	3.05	1972	3.02	1992	3.19
1953	3.03	1973	2.96	1993	3.19
1954	3.05	1974	3.03	1994	3.16
1955	3.05	1975	2.94	1995	3.16
1956	3.04	1976	2.66	1996	3.22
1957	3.04	1977	2.62	1997	3.21
1958	3.05	1978	2.78	1998	3.21
1959	3.04	1979	2.72	1999	3.23
1960	3.01	1980	2.66	2000	3.24
1961	3.02	1981	2.79	2001	3.27
1962	3.01	1982	2.75	2002	3.14
1963	3.01	1983	2.93	2003	3.07
1964	2.99	1984	2.96	2004	3.10
1965	3.09	1985	2.88	2005	3.06
1966	3.06	1986	2.89	2006	3.16
1967	3.10	1987	2.87		
1968	3.14	1988	2.93		
1969	3.14	1989	3.07		



Si una disminución en el Índice Trófico Marino representa un declive en la abundancia y diversidad de las especies de peces que están en los niveles más altos de la cadena alimenticia, y que se está presentando una sobreexplotación del recurso pesquero (alejada del manejo sostenible), qué se puede deducir del comportamiento de este indicador para la zona económica exclusiva de El Salvador, en el período 1950-2006?

Otro indicador que no aparece directamente asociado con los servicios del ecosistema, pero que ofrece información sobre el estado del ecosistema boscoso y sobre las posibles consecuencias que su cambio tiene en los servicios que provee, es el cambio en la cobertura boscosa. FAO

(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), presenta los siguientes datos de área en bosque para el período comprendido entre 1990 y 2005 (<http://www.fao.org/forestry/32089/en/>)

Año	1990	2000	2005
Superficie de bosque natural (FAO) (miles de hectáreas)	369	318	292

Calcular la tasa de cambio en la superficie de bosque natural para los períodos 1990-2005, 1990-2000 y 2000-2005 con base en la siguiente fórmula, y analizar los resultados. ¿Se presentan diferencias en las tasas de cambio? ¿A qué pueden deberse? ¿Cuáles serían las implicaciones en los servicios ecosistémicos que prestan los bosques de El Salvador?

$$\text{Tasa de cambio} = \frac{\text{Área en tiempo 2} - \text{Área en tiempo 1}}{\text{tiempo 2} - \text{tiempo 1}}$$

4. Consideraciones para la aplicación del enfoque ecosistémico en futuras EAI.

28

No existe hoy en día una única forma de realizar una evaluación ambiental integral con un enfoque ecosistémico, de la misma forma que no existe una única visión de cómo aplicar el enfoque ecosistémico a una evaluación ambiental. A pesar de todos los beneficios asociados a su uso también son muchas las limitantes existentes que deben reconocerse para la aplicación de un enfoque ecosistémico, empezando por el mínimo conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas (que afecta toma de decisiones de manejo) o por las numerosas demandas/necesidades inmediatas de los servicios que prestan los ecosistemas por parte de la población (bienestar población, escala y tiempo apropiado) y la complejidad de hacer un balance apropiado de usos ecológicos, sociales y económicos de la biodiversidad.

No obstante en el marco de las EAI, es importante, además de realizar la mirada integral de los componentes de los ecosistemas y las interrelaciones con el hombre, se debe enfatizar en la evaluación del funcionamiento de los ecosistemas (incluyendo las relaciones entre ecosistemas y con procesos dentro de los ecosistemas) y su relación de doble vía con el hombre. Las investigaciones futuras deben incorporar en las consecuencias para el ambiente, las consecuencias en el bienestar humano. ¿Cómo han cambiado los bienes y servicios de ecosistemas? y ¿Cómo este cambio ha repercutido en el bienestar de las poblaciones que dependen de ellos? ¿Cómo los cambios en los ecosistemas afectan el bienestar humano y pueden ayudar en el alivio de la pobreza de ciertas poblaciones marginales?

Una de las limitaciones de las EAI es que se basan mayoritariamente en información secundaria y su compilación y análisis depende en gran parte de las capacidades de las instituciones participantes en el proceso. En muchos casos sigue siendo un reto el cómo realizar evaluaciones con información incompleta y desactualizada y en el caso de servicios ecosistémicos seguirá siendo una limitante hasta que se generen mayores volúmenes de información primaria relevante en la región que permitan hacer un monitoreo del estado de los ecosistemas y su dinámica.

A pesar que a nivel global y regional existen iniciativas para el desarrollo de indicadores de servicios ecosistémicos, estos están en una etapa inicial de desarrollo y hasta el momento han sido difíciles de aplicar en la región. Estos indicadores deben desarrollarse a medida que exista información y capacidad regional para su implementación.

Por otro lado existe **una enorme dificultad en la determinación de umbrales críticos** (véase Recuadro 12), a partir de los cuales un cambio en un proceso o elemento de un ecosistema sea tan crítico que deba ser tenido en cuenta para la toma de decisiones en el manejo del ambiente de la zona, por si solo y por las consecuencias que puedan derivar de sobrepasar los límites a partir de los cuales se vean afectados otros elementos y sus relaciones. A pesar que es poco lo que se conoce sobre escalas de tiempo, inercia, y el riesgo de cambios no lineales en los ecosistemas, y las EAIE pueden apoyar integrando información de fuentes secundarias para avanzar más en el conocimiento de estas preguntas.

29

Recuadro 12: Ecosistemas: cambios no lineales y ecosistemas emergentes

La frecuencia con que se producen los cambios y la velocidad en que las condiciones ambientales están transformando los paisajes vegetados, así como la forma inesperada en la que los sistemas naturales existentes están respondiendo, conducen a importantes interrogantes sobre nuestra comprensión de los umbrales de los ecosistemas.

Las investigaciones mejoraron nuestra capacidad para explicar y predecir algunos de los factores y mecanismos de respuesta positiva que influyen en los cambios no lineales de los ecosistemas. Estos cambios no lineales y la expectativa de su mayor frecuencia han inspirado el concepto de ecosistemas emergentes que se basa en la idea según la cual al pasar por distintos estados de vulnerabilidad y recuperación, los ecosistemas evolucionan, adaptándose a las alteraciones en forma diferente y reestructurándose a sí mismos en función tanto del estado del sistema como de la escala espacial en la cual ocurren las alteraciones.

A medida que los ecosistemas emergentes y las condiciones que los hacen posible evolucionan, los enfoques de gestión deberán poder analizar costos y beneficios. Sigue siendo esencial estudiar el estado actual del funcionamiento de los ecosistemas, pero la gestión de los sistemas dinámicos también debe concentrarse en las posibles trayectorias o predicciones de cambios futuros con el fin de anticipar oportunidades de prevención de desastres.

Fuente: PNUMA Anuario 2009. Avances y progresos científicos en nuestro cambiante medio ambiente.

Otro reto en la aplicación del enfoque ecosistémico es que en muchos casos las EAI se enfrentan al problema de cómo abordar la diferencia entre la escala en la toma de decisiones y la escala o escalas en las que se realiza la evaluación. A futuro hay que hacer un esfuerzo por que estas se acerquen lo máximo posible desde el mismo diseño de un EAI.

5. Referencias

Andrade-Pérez, A., ed. (2008) *Applying the ecosystem approach in Latin America* Translated by Medina, Maria Eugenia, Gland, Switzerland, IUCN, vi + 106 pp. Originally published as *Aplicación del enfoque ecosistémico en Latinoamérica*. (Bogotá, Colombia. CEM-UICN, 2007).

Armenteras, D. & A. Singh. (en prensa). Capítulo 3: Relaciones entre cambios ambientales y bienestar humano en ALC. Informe GEOALC 2009. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA.

Beaumont, N., M. Townsend, S. Mangi, & M.C. Austen (2006), *Marine Biodiversity. An economic valuation. Building the evidence base for the Marine Bill*. s.l.: Department for Environment, Food and Rural Affairs UK.

Chuvieco, E. (2002) *Teledetección ambiental*. Ariel Ciencia: Madrid, España.

Costanza, R. & M. Mageau (1999). What is a healthy ecosystem? *Aquatic ecology* 33: 105-115.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, vol. 387, no. 6630, pp. 253-260.

Deininger, K. & B. Minten (1996). Determinants of forest cover and the economics of protection: an application to Mexico. World Bank, Washington, DC, en Kaimowitz y Angelsen, 1998.

Dinerstein, E., D.M. Olsen, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Book-binder & G. Ledec. (1995). *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. World Bank, WWF. Washington D. C., USA.

Ding Y., W. Wang, X. Cheng & S. Zhao (2008). Ecosystem health assessment in inner Mongolia region based on remote sensing and GIS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008. Pp: 1029-1034.

Dutilleul, P. (1993). Modifying the t test for assessing the correlation between two spatial processes. *Biometrics* 49, pp. 305–314.

Fernández, N. & G. Piñero. (2008). La caracterización de la heterogeneidad espacial de los ecosistemas: el uso de atributos funcionales derivados de datos espectrales. *Ecosistemas* 17 (3): 64-78.

Fisher, S. G. (1994). Pattern, process and scale in freshwater systems: some unifying thoughts. Pages 575–591 in P. S. Giller, A. G. Hildrew, and D. G. Raffaelli (editors). *Aquatic ecology: scale, pattern and process*. Blackwell Scientific, Oxford, UK.

Foley, J.A. y otros (2007) Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology* 2007; 5(1): 25—32. GEO Resource Book.

Goldstein, H. (1999). Multilevel Statistical Models, en: http://www.ats.ucla.edu/stat/examples/msm_goldstein/goldstein.pdf

Gómez, R. & E. Galarza. (2009). Guía metodológica para la elaboración de GEO Ecosistémico. Documento borrador. Lima, Mayo 2009.

Gómez, R., E. Galarza, P. Bubb, C. Mafuta, P. Rajbhandari, C. Sebukeera, K. Zahedi, B. Garea-Moreda y L. Fernández. (sf.) Manual de capacitación para evaluación ambiental integral y elaboración de informes. Módulo de capacitación 2. El diseño y la organización del proceso del EAI nacional. PNUMA, International Institute for Sustainable Development. 56p.

IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreís e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá. D.C., 276 p + 37 hojas cartográficas.

Jäger, J., M.E. Arreola, M. Chenje, L. Pintér, P. Raibhandari, B. Garea Moreda y L. Fernández. (sf.) Manual de capacitación para evaluación ambiental integral y elaboración de informes. Módulo de capacitación 1. El enfoque GEO para la realización de evaluaciones ambientales integrales. PNUMA, International Institute for Sustainable Development. 34p.

Josse, C., G. Navarro, P. Comer, R. Evans, D. Faber-Langendoen, M. Fellows, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K. Schulz, K. Snow, and J. Teague. (2003). Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems. NatureServe, Arlington, VA. En: <http://www.natureserve.org/library/LACEcologicalSystems.pdf>

Legendre, P. & M.J. Fortin. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80:107-138.

Legendre, P. (1993). Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm? *Ecology* 74 (6): 1659-1673.

Levin, S.A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73(6): 1943-1967.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W. (2005). *Geographic Information Systems and Science*. 2nd Edition. Wiley.

Mertens, B., Lambin, E., (1999). Modelling land cover dynamics: integration of fine scale land cover data with landscape attributes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 1(1) 48-52.

Millenium Ecosystem Assessment, (2005). *Ecosystem and Human Well-being; Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

Millennium Ecosystem Assessment. (2009). Manual chapter 4. Manual de Evaluación de Ecosistemas y Bienestar Humano: una guía del proceso". En prensa. <http://www.unep-wcmc.org/eap/ma-manual.aspx>

Moran E.F., Brondizio, E.S., Tucker, J.M., Silva-Forsberg, M.C., M.McCracken, S., Falesi, I., (2000). Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. *Forest Ecology and Management* 139 (1-3) 93-108.

Nagendra, H.Southworth, J. & Tucker, C.M., (2003). Accesibility as a Determinant of Landscape Transformation in Western Honduras: Linking Patterns and Process. *Landscape Ecology* 18(2): 141-158.

Nelson, G.C., E. Bennet, A.A. Berhe, K. Cassman, R. DeFries, T. Dietz, A. Dobermann, A. Dobson, A. Janetos, M. Levy, D. Marco, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Norgaard, G. Petschelheld, D. Ojima, P. Pingali, R. Watson and M. Zurek (2006). Anthropogenic drivers of ecosystem change: an overview. *Ecology and Society* 11(2).

Nolimits, (2000). Networking of Long-term Integrated Monitoring in Terrestrial Systems. Report 4.

Noon, B.R. (2003). Conceptual issues in monitoring ecological resources. En: Busch, D. E. y Trexler, J.C., eds. *Monitoring ecosystems: interdisciplinary approaches for evaluating ecoregional initiatives*. Island Press, Washington, D.C. 27-72.

O' Neill, R.V. (2001). Is It Time to Bury the Ecosystem Concept? (With Full Military Honors of Course!). *Ecology* 82, no. 12: 3275-84.

Organisation for Economic Cooperation and Development OECD (1994). *Environmental Indicators: Environment Monographs No. 83*. París.

Paruelo, J.M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas* 17 (3): 4-22.

Paruelo, J.M., E.G. Jobbágy & O.E. Sala. (2001). Current Distribution of Ecosystem Functional Types in Temperate South America. *Ecosystems* 4: 683-698.

Perry, G. & Enright, N., (2006). Spatial modelling of vegetation change in dynamic landscapes: a review of methods and applications, *Progress in Physical Geography* 30, 1, pp 47-72.

Pintér, L., D. Swanson, I. Abdel-Jelil, K. Nagatani-Yoshida, A. Rahman, M. Kok, B. Garea Moreda y L. Fernández. (sf.) Manual de capacitación para evaluación ambiental integral y elaboración de informes. Módulo de capacitación 5. Análisis integral de tendencias ambientales y políticas. PNUMA, International Institute for Sustainable Development. 60p.

Read, J.M., Denslow, J. y Guzman S. (2001). Documenting land cover history of a humid tropical environment in northeastern Costa Rica using time-series remotely sensed data In: A.C. Millington S.J. Walsh y P.E. Osborne (Editors), GIS and remote sensing applications in biogeography and ecology. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 68-89.

Serneels, S. and Lambin, E.F. (2001). Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. Agriculture, Ecosystems and Environment. 85 pp 65-81

Sierra, R. (ed.) (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de Vegetación para el Ecuador continental. Proyecto Inefan/GEF-BIRD y EcoCiencia. Quito, Ecuador.

Smith R.D., Maltby, E. (2003) Using the Ecosystem Approach to Implement the Convention on Biological Diversity: Key Issues and Case Studies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. x + 118 pp.

Tansley, A.G. (1935) The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology 16:284–307.

UNEP – United Nations Environment Programme. (2007). Global Environment Outlook, GEO 4. Environment for development. Progress Press Ltd. Valletta, Malta.

Van Woerden, J., C. Wieler, E. Gutiérrez-Espeleta, R. Grosshans, A. Abdelrehim, P.C.L. Rajbhandari, B. Garea-Moreda y L. Fernández. (sf). Manual de capacitación para evaluación ambiental integral y elaboración de informes. Módulo de capacitación 4. Monitoreo, datos e indicadores. PNUMA, International Institute for Sustainable Development. 34p.

Vreugdenhil, D., Meerman, J., Meyrat, A., Gómez, L.D. y Graham, J. (2002). Map of Ecosystems of Central America: Final Report. World Bank, Washington, DC.

Walter, H. (1980). Vegetation of the Earth and ecological systems of the geo-biosphere. Springer-Verlag, Berlin.

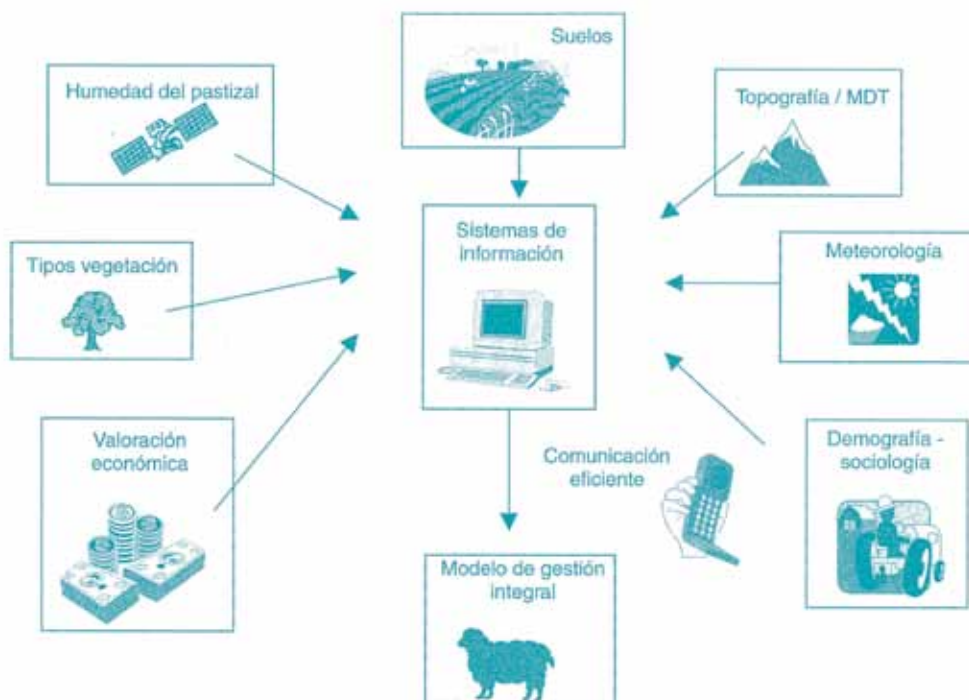
World Resource Institute (2009). Measuring Nature's Benefits: A preliminary roadmap for improving ecosystem service indicators. Working Paper. C. Layke. September 2009.

6. Anexos

ANEXO 1. QUÉ ES UN SIG?

Un Sistema de Información Geográfica es un sistema de información espacial. Los sistemas de información se usan para manipular, resumir, consultar, analizar, editar, visualizar - generalmente, para trabajar con información almacenada en bases de datos computarizados. Los SIG usan información espacial sobre qué está donde en la superficie terrestre, información espacial referenciada geográficamente que es analizada desde un punto de vista geográfico. Adicionalmente puede ser visto como un sistema de apoyo para toma de decisiones espaciales (ej. Para gestores, véase Figura A), una herramienta para realizar operaciones en información geográfica más eficiente (ej. Para cartógrafos, planificadores, etc.) , o como una herramienta para revelar patrones que de otra forma es invisible en la información geográfica (ej. Para científicos, investigadores).

Figura A: Modelo de gestión de información espacial. (Fuente: Chuvieco 2002)



Estructura de un Sistema de Información Geográfica

Un SIG hoy en día tiene sus componentes bien definidos (Figura B), pero quizás la parte más fundamental que ha cambiado la forma en cómo se manejan los datos espaciales es la red, sin la cual no es posible la comunicación, transmisión ni el intercambio de información digital, de forma eficiente y rápida. La red (tanto intranets como internet) es pues, al igual que en otros campos de las ciencias, esencial en la investigación y facilita enormemente la búsqueda y acceso a fuentes

variadas de información. En el caso de la información geográfica, desde 1993 se publicaron en el internet los primeros mapas interactivos en línea, que dieron paso después a aplicaciones SIG de internet comercial más sofisticadas. Hoy en día son numerosas las aplicaciones de SIG en internet exitosas.

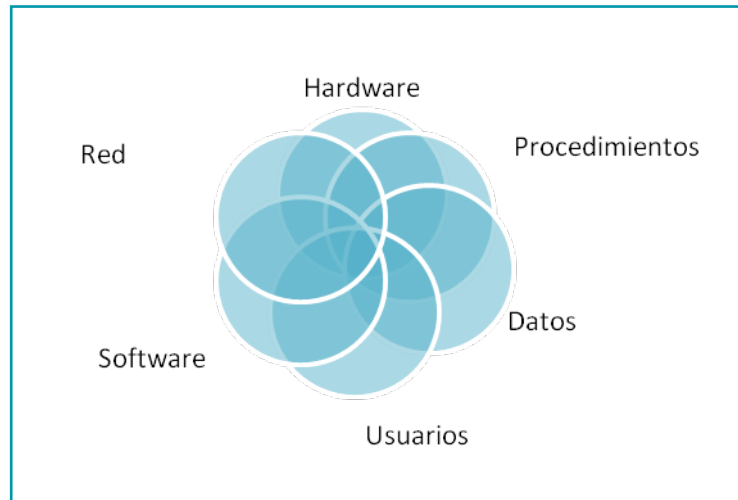
Los otros cinco componentes de un SIG son el Hardware, el Software, los Datos, la Gente/usuarios y los Procedimientos (Figura B). El Hardware son los equipos con los que el usuario interactúa directamente cuando realiza operaciones espaciales al teclear, señalar, cliquear o grabar, y que generalmente retornan información de alguna forma vía la pantalla, o generando algún tipo de reporte o sonido. Normalmente estaríamos hablando de equipos de escritorio como, servidores, impresoras o PCs de escritorio, o alternativas más móviles como portátiles, PDAs, GPS, etc.

La siguiente pieza de un SIG es el software (hoy en día existen múltiples alternativas comerciales, ArcGis, Ilwis, etc y de libre acceso como Quantum GIS, GVSig, etc), que normalmente funciona localmente en los equipos en los que está el usuario sentado trabajando. Un programa o software de sistema de información geográfica es un gestor de bases de datos con herramientas especializadas en el manejo de información espacial, es pues una aplicación informática que puede manejar datos de dos tipos: a) espaciales: entidades asociadas a una localización geográfica concreta (puntos, líneas, polígonos) o campos, que representan una variable continua o b) no espaciales: tablas (relaciones) que recogen información sobre atributos no relacionados con la ubicación geográfica. Los SIG manejan ambos tipos de datos de forma integrada. Usualmente se establece una red interna de trabajo, cliente-servidor, donde ciertas licencias de software pueden o no estar instaladas localmente o en la red, para facilitar el acceso a los programas que los usuarios requieran y ajustarse al número de licencias adquiridas u obtenidas.

Muchas de las operaciones espaciales que se realizan constantemente pueden ser optimizadas por medio de procedimientos con herramientas informáticas con secuencias escritas tipo scripts o macros con los lenguajes informáticos disponibles (Avenue, Visual Basic, C, etc.).

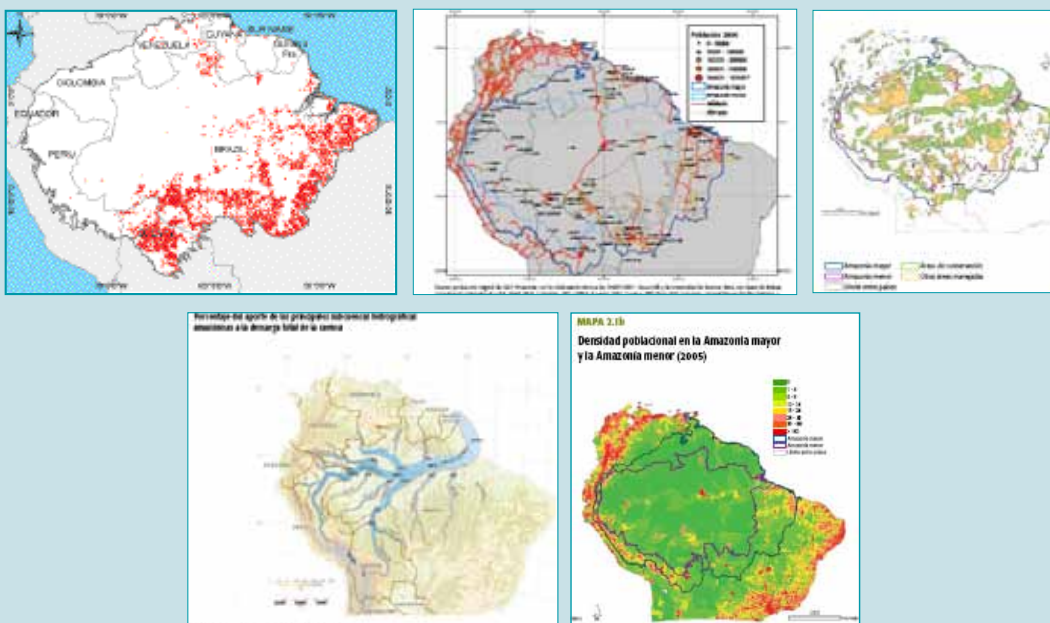
Sin duda la otra pieza fundamental es la información, que consiste en una representación digital de aspectos específicos de un área de la superficie terrestre, construida o levantada como solución de un problema específico o con un objetivo científico. Usualmente, cada proyecto o investigación tiene su propia base de datos y esta puede variar de unas pocas Megabyte a Terabytes. Es también por esto que se requiere un manejo del sistema, en el que los procedimientos y estándares son una parte fundamental, al igual que los usuarios que diseñan, programan, mantienen la información, analizan, interpretan los resultados o administran el sistema de una forma u otra. Para esto deben tener los conocimientos básicos para el trabajo con información geográfica, como son las fuentes de información, escala, precisión y manejo de productos informáticos relacionados.

Figura B. Componentes de un SIG



Por lo general un SIG incorpora un gestor de bases de datos que maneja de forma simultánea y coordinada: a) la información espacial, que describe objetos geográficos o localizaciones y sus propiedades espaciales y se gestiona con modelos de datos específicos diseñados en función de los objetos espaciales y b) información atributiva sobre los objetos geográficos o localizaciones, que describe propiedades no espaciales y que se recoge en bases de datos que suelen seguir el modelo de datos relacional. El análisis espacial transforma esta información almacenada en un gestor de bases de datos en información útil y relevante, por lo que es un aspecto fundamental en cualquier evaluación ecosistémica. A diferencia de otros análisis de datos, en el análisis espacial los resultados cambian cuando las localidades de los objetos de estudio se cambian (ej. median center, clusters, correlación espacial) y la localización, es decir, el dónde es muy importante tanto en términos absolutos (coordenadas) como en términos relativos (arreglos espaciales, distancia): la dependencia es la regla y es importante tener en cuenta que “todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes” (everything depends on everything else, but closer things more) (Tobler, primera ley de la geografía).

Recuadro. Tipos de elementos/fenómenos geográficos en el mundo real y su representación en modelos de datos espaciales



Cada uno de los elementos geográficos con los que se quiera realizar un análisis espacial, presentan rasgos particulares que afectan el proceso de selección del método de análisis de acuerdo a si son fenómenos discretos (ej. fincas privadas, parques nacionales, carreteras) o continuos (ej. precipitación o temperatura), y en algunos casos elementos que usualmente se resumen por un área en particular (Ej. densidad de población por departamento).

Existen dos formas de representar los objetos geográficos (reales): utilizando el modelo vectorial o el modelo raster. Aunque todo elemento puede representarse utilizando cualquiera de los dos modelos de datos, en principio en el primero se utilizan objetos geométricos para representar los objetos reales de naturaleza predominantemente discreta utilizando puntos a través de un par de coordenadas x, y (ej. ubicación de yacimientos arqueológicos), líneas utilizando un vector o un conjunto ordenado de puntos (ríos, tendidos eléctricos aéreos, red viaria) y polígonos o recintos, un vector ordenado de líneas que definen un espacio cerrado (vegetación, usos del suelo, litología). En el modelo raster se representan las propiedades de las localizaciones espaciales recubriendo el terreno mediante un mosaico con unidades mínimas denominadas píxeles o celdas. Los atributos que caracterizan a los elementos pueden ser valores categóricos, rangos, conteos, cantidades, proporciones.

Ejemplo a) variables discretas, ocurrencia de incendios (puntos), carreteras (líneas) y áreas de manejo especial en la Amazonia (polígonos), modelo vector; b) variable continua, densidad de población en la Amazonia, utilizando el modelo de datos raster para representarla y c) variable resumida, porcentaje de aportes de las principales subcuencas hidrográficas amazónicas a la descarga total de la cuenca (mapas tomados de Geo Amazonia 2009).

ANEXO 2. RESUMEN DEL ESTADO DE DESARROLLO DE INDICADORES DE SEGUIMIENTO REGIONALES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LATINO AMÉRICA Y EL CARIBE (ILAC 2009).

De esta iniciativa es posible conseguir información para indicadores de estado, presión y respuesta para llevar a cabo una EAI.

AREA TEMÁTICA	NOMBRE INDICADOR	ESTADO	Equivalencia con Objetivos de Desarrollo del Milenio -ODM
1. DIVERSIDAD BIOLÓGICA	1.1.1.1 Proporción de la superficie cubierta por bosques	CONSENSUADA	ODM 7.1 Proporción de la superficie cubierta por bosques
	1.2.1.1 Proporción de áreas terrestres y marinas protegidas	CONSENSUADA	ODM 7.6 Proporción de áreas terrestres y marinas protegidas
	1.2.1.2 Proporción de especies conocidas en peligro de extinción	EMERGENTE	
	1.3.1.1 Existencia de leyes y/o decretos regulaciones nacionales relacionados con el acceso a recursos genéticos y la repartición de beneficios.	CONSENSUADA	
	1.3.1.2 Por determinar (Indicador que incorpore la gestión: trámites)	EMERGENTE	
	1.2.1.1 Proporción de áreas terrestres y marinas protegidas	CONSENSUADA	ODM 7.6 Proporción de áreas terrestres y marinas protegidas
2. GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	2.1.1.1 Proporción total de recursos hídricos utilizados	CONSENSUADA	ODM 7.5 Proporción total de recursos hídricos utilizados
	2.1.1.2 Por determinar	EMERGENTE	
	2.1.1.3 Consumo doméstico de agua por habitación o vivienda	EN DESARROLLO	
	2.1.2.1 Agua desalinizada	EMERGENTE	
	2.1.3.1 Marcos regulatorios, cuotas para el manejo de los mantos acuíferos	EMERGENTE	

AREA TEMÁTICA	NOMBRE INDICADOR	ESTADO	Equivalencia con Objetivos de Desarrollo del Milenio -ODM
2. GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	2.2.1.1 Proporción de cuencas que tienen comités de manejo	CONSENSUADA	
	2.2.1.2 Proporción de la superficie de territorio manejado bajo el criterio de cuenca	EMERGENTE	
	2.2.1.3 Eficiencia en la gestión de las cuencas hidrográficas	EMERGENTE	
	2.3.1.1 Extracción de peces	CONSENSUADA	
	2.3.2.1 Proyectos o cantidad de dinero dirigidos a mejorar el manejo del mar Caribe o de las costas	EMERGENTE	
	2.4.1.1 Porcentaje de efluentes colectado que recibe tratamiento	EMERGENTE	
	2.4.1.2 Población con acceso a saneamiento	CONSENSUADA	ODM 7.9 Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados
3. VULNERABILIDAD, ASENTAMIENTOS HUMANOS Y CIUDADES SOSTENIBLES	3.1.1.1 Proporción del territorio nacional con planes de ordenamiento territorial	CONSENSUADA	
	3.1.2.1 Cambio anual de los diferentes usos del suelo	CONSENSUADA	
	3.2.1.1 Áreas afectadas por procesos de degradación	CONSENSUADA	
	3.3.1.2 Emisiones del dióxido de carbono	CONSENSUADA	ODM 7.3 Consumo de sustancias que agotan la capa de ozono
	3.4.1.1 Población con acceso al agua potable	CONSENSUADA	ODM 7.8 Proporción de la población con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable

AREA TEMÁTICA	NOMBRE INDICADOR	ESTADO	Equivalencia con Objetivos de Desarrollo del Milenio -ODM
3. VULNERABILIDAD, ASENTAMIENTOS HUMANOS Y CIUDADES SOSTENIBLES	3.4.1.2 Población con acceso a saneamiento	CONSENSUADA	ODM 7.9 Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados
	3.5.1.1 Población con acceso a la recolección de residuos	CONSENSUADA	
	3.5.2.1 Desechos recolectados y depuestos adecuadamente	CONSENSUADA	
	3.6.1.1 Comisiones Nacionales de emergencias o de grupos de respuesta inmediata.	CONSENSUADA	
	3.7.1.1 Población que habita en zonas de alto riesgo	EMERGENTE	
	3.7.1.2 Víctimas o afectados por desastres naturales	CONSENSUADA	ODM 7 Complementario: Ocurrencia de desastres naturales
	3.7.2.1 Por determinar	EMERGENTE	
4. TEMAS SOCIALES, INCLUYENDO SALUD INEQUIDAD Y POBREZA	4.1.1.1 Prevalencia del VIH /SIDA entre las personas de 15 a 49 años	CONSENSUADA	ODM 6.1 Prevalencia del VIH /SIDA entre las personas de 15 a 49 años
	4.1.2.1. Tasa de morbilidad atribuible a enfermedades respiratorias agudas	CONSENSUADA	
	4.1.2.2 Tasa de morbilidad por enfermedades por origen hídrico	CONSENSUADA	
	4.1.3.1 Hectáreas de áreas urbanas verdes con respecto a la población urbana	EN DESARROLLO	ODM 7 Complementario: Áreas verdes (per cápita) en las principales ciudades de ALC
	4.2 1.1 Proyectos o programas de desarrollo sostenible y el total de personal ocupado en ese proyecto	EMERGENTE	

AREA TEMÁTICA	NOMBRE INDICADOR	ESTADO	Equivalencia con Objetivos de Desarrollo del Milenio -ODM
4. TEMAS SOCIALES, INCLUYENDO SALUD INEQUIDAD Y POBREZA	4.2.1.2 Generación de empleo en programas de desarrollo sostenible	EMERGENTE	
	4.3.1.1. Proporción de hogares en asentamientos precarios	CONSENSUADA	ODM 7.10 Proporción de la población urbana que vive en tugurios
	4.3.1.2 Población con ingresos inferiores a la paridad del poder adquisitivo (PPA) de un dólar por día.	CONSENSUADA	
	4.3.2.1 Índice del crecimiento del número de pequeñas empresas	EMERGENTE	
	4.3.3.1 Gasto social como porcentaje del producto interno bruto	CONSENSUADA	
	4.3.3.2 Gasto ambiental como porcentaje del gasto público total	EMERGENTE	
	5. ASPECTOS ECONÓMICOS INCLUIDOS, EL COMERCIO Y LOS PATRONES DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO	5.1.1.1 Población que utiliza combustibles sólidos	EMERGENTE
5.1.1.2 Proporción de energías renovables		CONSENSUADA	ODM 7 Complementario Renovabilidad de la oferta energética
5.1.1.3 Uso de energía por \$1000 dólares de PIB (PPA)		CONSENSUADA	ODM 7 Complementario: Uso de energía por \$1000 dólares del PIB (PPA)
5.2.1.1 Consumo de Clorofluorocarburos que agotan la capa de ozono		CONSENSUADA	
5.2.2.2 Compañías con certificación ISO 14001		CONSENSUADA	ODM 7 Complementario: Empresas con certificación ISO 14001
5.3.1.1 Instrumentos Económicos que se aplican el país		CONSENSUADA	
5.3.1.2 Por determinar		EMERGENTE	

AREA TEMÁTICA	NOMBRE INDICADOR	ESTADO	Equivalencia con Objetivos de Desarrollo del Milenio -ODM
6. ASPECTOS INSTITUCIONALES	6.1.1.1 Existencia de Programas Integrales Oficiales de Educación Ambiental en escuelas	EMERGENTE	
	6.2.1.1 Tasa neta de matrícula en la enseñanza primaria	CONSENSUADA	
	6.2.2.1 Por determinar/ Comisiones Nacionales de Emergencia o de Prevención de Desastres, por provincia, cantón, distrito	EMERGENTE	
	6.2.3.1 Horas de enseñanza de la ciencia ambiental en la educación primaria	EMERGENTE	
	6.3.1.1 Informes de estado del ambiente	CONSENSUADA	
	6.3.1.2 Sistema estadístico ambiental	CONSENSUADA	
	6.4.1.1 Existencia de consejos nacionales de desarrollo sostenible.	CONSENSUADA	

7. Glosario de términos

Bioma es una agrupación de los ecosistemas terrestres en un continente dado, que son similares en estructura de la vegetación, fisonomía, características del medio ambiente y características de sus comunidades animales.

Datos. Hechos, observaciones numéricas y estadísticas que describen algún aspecto del medio ambiente y la sociedad, como la calidad del aire y la demografía. Los datos son un componente básico de los indicadores.

Ecosistema es un complejo de comunidades vegetales, animales y microorganismos, y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.

Escenarios son descripciones de caminos hacia diferentes futuros posibles. Reflejan distintos supuestos sobre la evolución de las tendencias actuales, la influencia de incertidumbres críticas y la definición de factores nuevos.

Estado o condición actual del medio ambiente (o del ecosistema) como resultado de las fuerzas motrices y las presiones.

Estructura de un ecosistema es la organización y distribución de los elementos dentro de este.

Evaluación ambiental, proceso donde se estiman y evalúan los efectos significativos de un programa o un proyecto sobre el ambiente en el que está planteado, incluyendo formas de minimizar, mitigar o eliminar esos efectos e incluso de compensar por su impacto.

Evaluación. La totalidad del proceso social necesario para realizar una valoración y un análisis objetivo y crítico de los datos y la información, con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios y apoyar el proceso de toma de decisiones. Aplica el criterio expertos a los conocimientos de los que ya se dispone para brindar respuestas creíbles a de preguntas de política pública cuantificando, siempre que sea posible, el nivel de confianza. Fuente: <http://www.pnuma.org/GEO4/>

Evapotranspiración (**ET**) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. Fuente: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s00.pdf>

Factor **abiótico** o componente no vivo que determina el espacio físico en el cual habitan los seres vivos; ejemplo el agua, la temperatura, la luz, el pH, el suelo y los nutrientes.

Factor biótico o relación que se establece entre los seres vivos que comparten un mismo ambiente en un tiempo determinado y que condicionan su existencia.

Fuerza motriz, también denominadas fuerzas indirectas o subyacentes, son procesos fundamentales en la sociedad que impulsan actividades con impacto directo en el medio ambiente.

Función de un ecosistema es la forma en la que se da el intercambio de materiales y flujo de energía en el interior y hacia el exterior de un ecosistema. Ejemplo: ciclo de nutrientes.

Gradiente ambiental: variación progresiva y continua de una variable ambiental. Puede ser un cambio agudo o suave en las características de un ambiente, ecosistema, bioma, áreas geográfica (ej. temperatura del suelo, etc)

Impactos o influencias positivas o negativas del cambio ambiental sobre el bienestar humano mediante cambios en los servicios ambientales y la tensión ambiental.

Indicador proxy es una medida sustituta utilizada para proporcionar información del área o tópico de interés cuando no es posible medirlo directamente.

Indicador. Valor observado representativo de un fenómeno a ser estudiado. Los indicadores señalan, brindan información y describen el estado del medio ambiente con una relevancia superior a lo directamente asociado a la mera observación. En general, los indicadores cuantifican la información al agregar y sintetizan datos distintos y múltiples, simplificando así la información capaz de esclarecer fenómenos de gran complejidad (Manual de capacitación para EAI y elaboración de informes, 2009).

Índice. Combinación de dos o más indicadores o varios datos. Los índices suelen usarse en evaluaciones nacionales y regionales para mostrar niveles más altos de agregación.

Parches: Áreas geográficas no lineales con límites reconocidos que guardan características ambientales relativamente homogéneas

Presión, o fuerzas directa, son factores del sector social y económico de la sociedad que pueden estar orientadas a causar un cambio ambiental deseado o no y pueden estar sujetas a retroalimentación también en términos de cambio ambiental, o podrían ser productos secundarios deliberados o involuntarios de otras actividades humanas (como la contaminación);

Productividad Primaria: Producción que ocurre mediante la fotosíntesis, por medio del cual las plantas verdes convierten energía solar, dióxido de carbón, y agua en glucosa y tejido vegetal. Además, algunas bacterias en el mar profundo pueden convertir energía química en biomasa mediante quimiosíntesis. Se refiere a la cantidad de material producido por unidad de tiempo. La productividad, o el valor de producción, es afectada por diversos factores ambientales, incluyendo la cantidad de radiación solar, la disponibilidad de agua y alimentos minerales, y temperatura. Clases: Productividad Primaria Bruta y Productividad Primaria Neta. Fuente: http://www.peruecologico.com.pe/glosario_p.htm

Resiliencia, se refiere a la capacidad que tiene el ecosistema para experimentar una perturbación y a la vez mantener esencialmente la misma función, estructura, retroalimentación y, por lo tanto, identidad.

Respuestas o elementos entre las fuerzas motrices, las presiones y los impactos que pueden servir para dirigir a la sociedad de manera tal que se alteren las interacciones entre los seres humanos y el medio ambiente. Las fuerzas motrices, las presiones y los impactos puede alterar una persona responsable de la toma de decisiones en determinada escala se denominan 'factores endógenos', mientras que aquellas que no puede modificar se denominan 'factores exógenos'.

Salud de un ecosistema o integridad está determinado por qué tan intacto esta un complejo de plantas, animales y microorganismos y la robustez de las interacciones que se dan entre ellos y que sostienen al ecosistema.

Sensores remotos o teledetección es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de objetos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Chuvieco 2002).

Servicios ecosistémicos son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Ejemplos incluyen agua, madera, alimento, aire, regulación climática, etc.

Sistemas de información: Un sistema que apoya la toma de decisiones acerca de una parte específica de la realidad (el objeto del sistema), dando a los tomadores de decisiones acceso a información relevante acerca del objeto y su ambiente.

Tendencia o patrón de comportamiento de los elementos de una evaluación (medio ambiente o del ecosistema) durante un periodo de tiempo.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
Oficina Regional para América Latina y el Caribe
Avenida Morse, Edificio 103. Clayton, Ciudad del Saber.
Ciudad de Panamá, Panamá. Apdo. Postal: 03590-0843

Teléfono: (+507) 305-3100 / Fax: (+507) 305-3105
<http://www.pnuma.org> Correo electrónico: rolac.dewalac@unep.org

www.unep.org

United Nations Environment Programme
(UNEP)

P.O. Box 30552 Nairobi 00100, Kenya

Tel: +254-(0)20-762-1234

Fax:+254-(0)20-762 3927

Email: unepub@unep.org

Web: www.unep.org



PNUMA