

PS



PRESENTACIÓN

Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS)

Es una fundación sin fines de lucro, tiene como misión el análisis y formulación de políticas para el desarrollo y la conservación. Sus principales actividades son la investigación y la capacitación. Cuenta con experiencia internacional en el apoyo a instituciones responsables de la administración y uso sostenible de los recursos naturales en varios países latinoamericanos.

Autores

Gerardo Barrantes es Master en Política Económica con énfasis en Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica, actualmente Director General de IPS. María Isabel Di Mare es Ph. D. en Ciencias de la Vida Silvestre.

Dirección

Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS)

| | |
|-------------|---|
| Teléfono | (506) 261-0086 |
| Telfax | (506) 261-0186 |
| Apdo postal | 900-3000; Heredia, Costa Rica |
| E-mail | ips@ips.or.cr gerardo@ips.or.cr mariaisabel@ips.or.cr |
| Sitio Web | http://www.ips.or.cr |

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS) agradece al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) del gobierno de Costa Rica por hacer posible el presente trabajo. Así también al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) por el financiamiento aportado para el estudio.

Los autores agradecen especialmente por sus aportes, colaboración y apoyo en el presente trabajo a los funcionarios de los departamentos de control de SINAC de las diferentes áreas de conservación que participaron en los talleres. Igualmente, se agradece a los participantes del taller provenientes de diversas oficinas de SINAC-MINAE, de la Secretaría Técnica Ambiental Nacional (SETENA) y del Ministerio de Justicia.

Se agradece a Annemarie Hering la revisión filológica preliminar al documento.

RESUMEN

El presente documento plantea una metodología para guiar la consecución de la información necesaria para realizar una Valoración Económica de los Daños Ambientales, y los métodos para calcular los costos económicos asociados. Estos costos están referidos al costo de restaurar los recursos naturales afectados, el costo social por los beneficios perdidos y el costo de los productos extraídos. Por eso, el objetivo principal del estudio es el desarrollo de una estructura metodológica para valorar ecológica y económicamente los daños ambientales causados por distintas actividades económicas. Esto permitirá tener un marco de referencia que facilite el establecimiento de penas y de las acciones que el imputado debe cumplir para subsanar el daño efectuado.

El estudio surge como una necesidad en el país de disponer de una metodología que homogenice los criterios sobre la evaluación de daños ambientales. Actualmente, hay serias debilidades para diagnosticar adecuadamente las actividades que pueden producir daños, los daños que ocasionan, cuáles recursos y procesos se afectan, cómo se afecta el flujo de beneficios sociales y cuáles son los costos restauración del proceso afectado. Esta falta de información y de métodos, impide responsabilizar justamente a los actores del daño ambiental causado y los costos en que debe incurrir el afectado.

Para efectos de este estudio, el *daño ambiental* se define como una acción o actividad que produce una alteración desfavorable en el medio natural. Esta acción provoca un cambio en la condición de los recursos afectados, para lo que se requiere conocer el estado de conservación del recurso antes y después de la alteración. Este cambio es el que se considera en el análisis en términos de la manifestación, los efectos, las causas y los agentes implicados, lo que sirve de base para la metodología que se propone en la estimación del costo de restauración y del costo social.

Para efectos de estimar los costos de restauración se requiere la identificación el estado de conservación de los recursos naturales afectados y el grado de afectación de los mismos. Conociendo el estado de conservación antes de la alteración, es posible determinar el tiempo estimado que significará la restauración del recurso lo que redundará en una aproximación más correcta de los costos económicos que implicará. Precisamente, la metodología desarrollada para la estimación del costo de restauración está en función de los insumos requeridos y del tiempo de restauración del medio natural afectado hasta la condición antes de la alteración.

En la estimación del costo social se consideran los beneficios perdidos a causa del daño ambiental ocasionado. De este modo, es necesario determinar el conjunto de beneficios que brinda el medio natural afectado y cómo estos se han visto disminuidos con la alteración ambiental. En caso de que los beneficios sean cuantificables, se propone un método directo que depende fundamentalmente de la información disponible sobre los beneficios perdidos y los medios para compensarlos. Es por ello que para cada beneficio identificado se desarrolla un método para la estimación económica correspondiente. Si la cuantificación de beneficios perdidos no es posible, se propone un método indirecto basado en una relación proporcional del costo social con los costos de restauración, donde el factor de proporcionalidad está determinado por el cambio en el estado de conservación.

Una recomendación importante para darle contenido a la metodología es el desarrollo de una base de datos actualizado, confiable, sistemática, continua y consistente, que permita contar con estadísticas sobre el estado biofísico de los recursos naturales y los flujos que benefician el bienestar de la población. Además se propone la implantación de un Sistema de Vigilancia Ambiental (SIVA) que mantenga dicha base de datos sobre la condición de los ecosistemas, de modo que se pueda hacer oportunamente la evaluación del estado de conservación de los recursos naturales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. EL CAPITAL NATURAL COMO BASE DEL DESARROLLO DE COSTA RICA | 2 |
| 3. AMBIENTE Y DAÑO AMBIENTAL – aspectos conceptuales..... | 3 |
| 3.1. Delimitación del daño ambiental..... | 4 |
| 3.2. Componentes de la evaluación del daño ambiental..... | 6 |
| 4. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES..... | 7 |
| 4.1. Beneficios sociales que derivan de los recursos naturales | 40 |
| 4.2. Cualidades intrínsecas de los recursos naturales | 42 |
| 4.2.1. Valoración de las cualidades analizadas | 43 |
| 4.3. Estado de conservación de los recursos naturales | 44 |
| 4.4. Definición de acciones que conducen a daños ambientales | 47 |
| 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL DAÑO AMBIENTAL | 49 |
| 5.1. Evaluación económica del daño ambiental – aspectos biofísicos | 50 |
| 5.1.1. Ejemplo para la aplicación de la fórmula del costo de recuperación | 51 |
| 5.2. Evaluación económica del daño ambiental – aspecto social | 52 |
| 5.2.1. Método directo basado en los beneficios perdidos con la afectación de recursos naturales..... | 54 |
| 5.2.1.1. Pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final | 54 |
| 5.2.1.2. Beneficio perdido por la afectación del nivel de protección y de seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales que brinda el recurso natural..... | 58 |
| 5.2.1.3. Beneficio perdido por el daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural..... | 59 |
| 5.2.1.4. Beneficio perdido por la afectación del esparcimiento y el desarrollo espiritual debido al daño del recurso natural | 62 |
| 5.2.2. Método indirecto basado en el cambio del estado de conservación..... | 63 |
| 5.3. Evaluación económica del daño ambiental – costos totales..... | 64 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 65 |
| 7. RECOMENDACIONES | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA | 40 |
| ANEXOS | 42 |
| Anexo 1. Glosario..... | 43 |
| Anexo 2. Listado preliminar de las características de los recursos naturales | 50 |
| Anexo 3. Participantes de los talleres realizados en mayo y junio del 2001 | 53 |
| Anexo 4. Lista de especies mencionadas en el texto | 54 |

ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Clasificación de los recursos naturales, comentarios y ejemplos | 8 |
| Cuadro 2. Listado y definición de Beneficios que se derivan de los factores ambientales | 40 |
| Cuadro 3. Beneficios que aporta el capital natural a la sociedad por tipo de recurso natural involucrado..... | 41 |
| Cuadro 4. Cualidades intrínsecas de los recursos naturales por considerar en su análisis | 42 |
| Cuadro 5. Ponderación de las cualidades que se utilizan en la evaluación y análisis de un recurso natural | 43 |
| Cuadro 6. Clasificación del potencial ecológico del recurso natural..... | 44 |
| Cuadro 7. Posibles indicadores para la determinación del estado de conservación del recurso natural..... | 45 |
| Cuadro 8. Acciones que pueden causar daños a recursos naturales | 48 |
| Cuadro 9. Relación entre las acciones que pueden causar daños ambientales y los recursos naturales posiblemente afectados | 49 |
| Cuadro 10. Ejemplo de valores para cálculo del Costo de Restauración de la Ecuación 1 | 52 |
| Cuadro 11. Ejemplo de valores para cálculo del Pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final..... | 55 |
| Cuadro 12. Disminución del grado de afectación del estado de conservación en el tiempo conforme aumenta la restauración del recurso | 57 |
| Cuadro 13. Ejemplo de valores para cálculo de la pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final considerando la disminución del grado de afectación | 57 |
| Cuadro 14. Ejemplo de valores para cálculo del beneficio perdido por la afectación del nivel de protección y de seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales que brinda el recurso natural | 59 |
| Cuadro 15. Ejemplo de valores para cálculo de los costos de gestión y mantenimiento por el periodo de recuperación de los recursos..... | 59 |
| Cuadro 16. Ejemplo de valores para cálculo del beneficio perdido por el daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural..... | 61 |
| Cuadro 17. Ejemplo de valores para cálculo de los costos de prevención de enfermedades a la población | 61 |
| Cuadro 18. Ejemplo de valores para cálculo de los costos de control de plagas e inversiones en mitigación e infraestructura | 61 |
| Cuadro 19. Ejemplo de valores para cálculo de la afectación del esparcimiento y el desarrollo espiritual debido al daño del recurso natural | 62 |
| Cuadro 20. Ejemplo de valores para cálculo del grado de afectación del estado de conservación en el tiempo para la estimación del costo social..... | 63 |
| Gráfico 1. El impacto es la diferencia entre la evolución del medio ambiente “sin” y “con” el proyecto. | 6 |
| Gráfico 2. Aproximación del costo de recuperación del recurso natural afectado..... | 50 |
| Gráfico 3. Aproximación del costo social del recurso natural afectado..... | 54 |

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que Costa Rica recientemente ha decidido apostar a la tecnología para su futuro desarrollo, nuestro país históricamente ha basado su desarrollo sobre todo en su riqueza natural. Inicialmente, como productor agropecuario (los productos tradicionales de exportación han sido café, banano, carne y azúcar; MINAE 2000) y más recientemente con un gran auge en turismo que ha declarado a Costa Rica como uno de los destinos naturales por excelencia. Esta característica privilegiada, Costa Rica la ha obtenido gracias a, entre otros aspectos, sus singulares características biofísicas, así como la naturaleza y la belleza escénica.

Adicionalmente, la riqueza natural de Costa Rica nos ha colocado en una situación privilegiada en el mundo. El hecho de sólo representar un área terrestre del 0.03% en el mundo, pero poseer alrededor del 4% de la biodiversidad (MINAE 2000) indica que la conservación de nuestros recursos es un elemento clave para la conservación de los procesos fundamentales a nivel global. Además, la preocupación de que los procesos fundamentales de los cuales obtenemos los *servicios ambientales*¹ indispensables se mantengan, ha hecho que recaiga aún más interés en lograr la conservación adecuada de todos estos procesos, tanto interna, como internacionalmente. Costa Rica ha sido el primer país en lograr establecer el Pago por Servicios Ambientales, dentro de la estrategia de Oficina de Implementación conjunta (OCIC, adscrita al MINAE), que surge en 1995 como una de las respuestas a raíz de la reunión mundial que se dio en Río de Janeiro en 1992 (Orozco y Ruiz 2001).

A pesar de la importancia de lograr la conservación de estos procesos, por todo lo apuntado anteriormente, en nuestro país aún no está generalizado este entendimiento, por lo que la conservación de los recursos naturales no es un renglón prioritario en muchos de los ámbitos sociales. Más aún, dentro de nuestro esquema de desarrollo, todavía se realizan, y en algunos casos incluso se permiten, gran cantidad de actividades que producen daños ambientales a nuestros recursos; algunas se han logrado tipificar en nuestro marco jurídico como “delitos ambientales”. Sin embargo, no todas las acciones que pueden causar daño ambiental han sido debidamente identificadas, reconocidas y tipificadas en el derecho costarricense. Por ello, en el presente trabajo nos abstraeremos de referirnos a “delitos” y nos dedicaremos más técnicamente al “daño ambiental” que es en sí la acción que nos interesa, pues es de donde se origina el impacto que nos ocupa. De esta manera podremos cubrir los casos que técnicamente afecten al ambiente, estén o no tipificados en la ley.

Uno de los problemas graves existentes es el no lograr diagnosticar adecuadamente cuáles actividades pueden producir daños, qué tipo de daños se ocasionan, a cuáles recursos y procesos afectan y, finalmente, ofrecer una estimación del costo de restauración del proceso o recurso natural afectado. Esta falta de información conduce a problemas incluso en situaciones en que ya se reconoce el daño, pues existe la dificultad de lograr una adecuada valoración del daño ocasionado, con lo cual no se logra sentar adecuadamente las responsabilidades ni indicar con cuáles costos debe correr el responsable. El problema tiene implicaciones legales, pues muchas veces las denuncias se presentan incorrectamente debido a que las pruebas que se presentan son inadecuadas. Esto sucede en parte por no saber precisamente qué recursos se han afectado, o qué daños se han ocasionado (según discusión con personal del SINAC EN 2001 durante el 1er Taller de Daños Ambientales). Por ejemplo, Atmella y Camacho (1993) informan que de 1983 a 1991 se presentaron 7520 denuncias por delitos ecológicos, de las cuales solo 2251 terminaron con una sentencia condenatoria; esto cual los motivó a la elaboración de un manual que ayudara a una adecuada presentación de denuncias cuando hay un delito ecológico.

¹ Los *servicios ambientales* son los flujos que el capital natural brinda para el bienestar de la sociedad.

El presente documento busca proveer parte de la información necesaria para guiar en la Valoración Económica de Daños Ambientales, y así facilitar los procesos de restauración. Precisamente, el objetivo de este estudio es el desarrollo de una estructura metodológica para valorar ecológica y económicamente los daños ambientales causados por distintas actividades económicas. Este es un esfuerzo para dar apoyo en el ámbito de la elaboración de denuncias acertadas, que permita establecer pautas de cómo valorar el daño ocasionado, así como para servir de herramienta de apoyo para la legislatura costarricense al valorar los “delitos ambientales”. También sirve para tener un marco de referencia que facilite el establecimiento de penas y de las acciones que el imputado debe cumplir para subsanar el daño efectuado.

Antes de entrar en materia, es importante señalar los varios aspectos. Primero, El proceso de restauración puede lograr que el sistema se acerque a su funcionamiento original, pero por lo general la restauración no será total. Segundo, la valoración del daño ambiental incluye muchísimas variables, tanto biofísicas como económicas y sociales. En realidad, este es un campo novedoso y joven. El presente documento no es de manera alguna la versión final de cómo lograr la valoración, sino que brinda una herramienta inicial facilitadora para iniciar los procesos de valoración; no representa la última palabra en este campo. Finalmente, este documento tendrá una perspectiva técnica y se dedicará a establecer las acciones que conducen a “daño” ambiental y dejará al derecho costarricense el establecer la tipificación de delitos en las instancias en que sea pertinente.

2. EL CAPITAL NATURAL COMO BASE DEL DESARROLLO DE COSTA RICA

La riqueza natural de Costa Rica es la base principal de su desarrollo social y económico. Una manifestación de ello es la importancia que tiene el sector agropecuario en la economía nacional en términos de ingreso y empleo, cuya base fundamental es la disponibilidad de suelos en calidad y cantidad; la producción de energía hidroeléctrica, cuya base fundamental es la disponibilidad de agua; el desarrollo de la industria turística, basada en los atractivos naturales con los que cuenta el país; entre otros indicadores de la importancia que tienen los recursos naturales para Costa Rica.

Además de los aportes en las distintas industrias productivas, la sociedad recibe beneficios directos al disponer de una calidad ambiental que le permite disfrutar un nivel de bienestar determinado. Cuando esta calidad ambiental es alterada y se afecta alguno de sus factores, el nivel de bienestar también se ve afectado, de modo que si el recurso natural mejora, es esperable una mejora en el bienestar; o en su defecto, si empeora dicho factor, es probable que empeore el bienestar social. Lo anterior implica una relación directa entre la calidad ambiental y el nivel de bienestar.

Por eso, esta riqueza es considerada parte del capital global del país que debe ser optimizado en función del mejoramiento del bienestar de la sociedad. Dicha optimización ha de entenderse como la maximización del bienestar con el mínimo uso de recursos y la minimización de los impactos negativos sobre el ambiente y sobre los recursos naturales. Este capital natural conjuntamente con el capital humano, financiero y sociocultural, determina en gran parte la capacidad nacional para alcanzar el modelo de desarrollo sostenible que se ha propuesto la sociedad costarricense.

Si esta riqueza natural es un capital importante para el desarrollo nacional, ha de dársele mantenimiento y protección al igual que a los demás activos productivos de la sociedad. En una situación normal, se ha de considerar su depreciación en términos del agotamiento y la degradación cuando es utilizado en la producción de bienes y servicios por las distintas actividades económicas.

Esta consideración permitirá la inversión en la recuperación o reposición del activo cuando se agote su vida útil productiva, de modo que la sociedad no pierda su nivel de bienestar alcanzado.

A pesar de las consideraciones anteriores, hay una preocupación por el deterioro ambiental debido al estilo de desarrollo que se ha venido implementando en el país, que tiene un horizonte de corto plazo cuyo objetivo fundamental es la maximización de utilidades en menoscabo de la calidad y cantidad de los recursos naturales. En general, no se considera el uso de recursos, ni su deterioro, dentro de los costos de producción, por lo que es posible plantear la existencia de un subsidio ambiental que está atentando contra el conjunto de recursos naturales que tenemos, o sea, el capital natural del país. Efectivamente, los precios de los bienes y servicios que se ofrecen al consumidor no incorporan los costos ambientales.

Ese deterioro ambiental ocurre a pesar de que el marco jurídico nacional establece la necesidad de resguardar el capital natural, procurando su uso racional y exigiendo su restauración en caso de los daños que se le causen debido al desarrollo de actividades productivas. La importancia del capital natural dentro de la legislación costarricense es un indicador del reconocimiento social hacia el ambiente, lo que ayuda a comprender el porqué de la preocupación por establecer las responsabilidades cuando no se está cumpliendo lo que establece el marco legal.

Para poder establecer las responsabilidades respectivas, es necesario abordar, entre otros componentes, los aspectos económicos asociados con los daños causados. Este abordaje implica la definición de un marco metodológico que relacione los distintos factores biofísicos con variables económicas, de tal modo que se cuantifique, en términos monetarios, el monto que significa el daño causado. Sin embargo, previamente es necesario hacer una breve descripción del concepto de ambiente y de daño ambiental, como se presenta a continuación.

3. AMBIENTE Y DAÑO AMBIENTAL – aspectos conceptuales

En términos generales, el *ambiente* es el entorno vital; es decir, el conjunto de elementos físicos, biológicos, económicos, sociales, culturales y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su forma, su carácter, su comportamiento y su supervivencia. En términos más específicos, el *ambiente* sería el sistema constituido por el ser humano, la fauna, la flora y los microorganismos; el suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje; las interacciones entre los factores citados y los bienes materiales y el patrimonio cultural. Atendiendo el modelo de desarrollo, el ambiente puede entenderse como: fuente de recursos naturales, flujo de materiales hacia las actividades humanas y receptor de desechos (ver Glosario en Anexo 1; y en general para aclarar algunos conceptos).

El ambiente tiene una evolución natural. Ésta puede ser alterada por las actividades del ser humano (culturales, económicas, sociales, etc.) y las consecuencias (el impacto) pueden ser benéficas (positivas) o perjudiciales (negativas). En adelante denominaremos *daño ambiental* a aquellos impactos negativos, o sea, perjudiciales. También puede valorarse cuán fuerte es el impacto. Puede ser desde poco (casi imperceptible y sin mayores implicaciones) hasta impactos que producen cambios irreversibles.

Para lograr un análisis cuantitativo podemos definir el impacto como una variable x . Cuando el impacto es benéfico significa que esta variable tiene un signo positivo (+), y si es perjudicial significa que es negativo (-). Por otro lado, el grado del impacto se indicará mediante el valor de la variable, el cual dependerá (será una función) de la *magnitud del impacto* y de su *incidencia*. O sea, dentro de una escala definida (por ejemplo, de 0 a 10), el número que se le asignaría dependería de

la *magnitud* del impacto y de su *incidencia*. La *magnitud* se refiere a la cantidad y la calidad del factor modificado. La *incidencia* se refiere al grado o intensidad de la alteración producida y a una serie de atributos cualitativos de dicha alteración.

Por ejemplo, la eliminación de parte de la superficie vegetal de un bosque protegido que expone el suelo a erosión y disminuye la capacidad de recarga de un acuífero sería perjudicial, y por tanto, x sería de signo negativo. En cuanto a la magnitud, si esta eliminación produce una gran descarga de sedimentos que a su vez inciden en contaminación de ríos cercanos y lejanos y eventualmente produce un cambio en la profundidad de los esteros que a su vez producen una disminución en la sobrevivencia de las larvas de peces y moluscos en estas áreas, esta magnitud es grande pues abarca una escala considerable. En una escala de 0 a 10 podría asignársele alrededor de -7 a -8 . Además, la incidencia se podría valorar por características cualitativas como el tipo de suelo de los sedimentos (arcilloso o arenoso; alcalino o ácido) En contraste, si las condiciones fueran diferentes y produjeran consecuencias muy locales, afectando únicamente por erosión a un pequeño parche (por ejemplo, de $\frac{1}{2}$ ha) y sin producir sedimentación, escorrentía aditiva ni efectos a grandes distancias, en este caso a la magnitud se le asignaría un valor pequeño, siempre negativo. Por ejemplo entre -1 ó -2 .

Se dice que hay *daño ambiental* cuando una acción o actividad produce una alteración desfavorable en el medio o en algunos de los componentes del medio. Los *daños ambientales* quedan definidos por cuatro elementos: (1) manifestación, (2) efectos, (3) causas y (4) agentes implicados (Gómez, 1994). Estos elementos sirven de referencia en el desarrollo de la estructura para el análisis de las implicaciones ecológicas y económicas relacionadas con los daños ambientales, el cual se desarrolla posteriormente.

Según Gómez (1994) las posibles acciones a tomar ante los daños comprenden dos opciones: preventivas y curativas, a las que se puede agregar una tercera, la de mitigación. Los dos casos últimos (curativa y de mitigación) atienden aquellos impactos no corregibles mediante las actividades de prevención.

3.1. Delimitación del daño ambiental

El ambiente se define por una serie de características que presenta. Sin embargo, estas características pueden variar cuando ocurre un daño ambiental, de forma que sus características son diferentes antes y después del daño ambiental. Para poder evaluar dicho daño ambiental, se necesita estimar estos dos estados, pues el daño comprendería la diferencia entre el estado ambiental antes de la intervención y después de la intervención humana que ocasionó el daño.

Deben recalcarse, además, dos aspectos. Primero, las características que interesa evaluar son las directamente relacionadas con el daño en cuestión. O sea, no se tratará de evaluar todas las características, ni se valorará factores que no hayan sido dañados. Por ello, deberá determinarse cuáles procesos o recursos fueron dañados y analizar las características de ellos *antes* y *después* del daño para poder valorar la magnitud e incidencia de dicho daño. Y entre los dañados, se coleccionará información de las características que puedan ser las más indicativas de lo sucedido.

Segundo, puede que antes de la intervención ya existiera un daño ambiental, el cual no se podría atribuir a la intervención que se esté evaluando. La responsabilidad por daños preexistentes no se atribuiría a la actividad bajo evaluación. Por lo tanto, se evaluarían únicamente las características directamente relacionadas al daño que se está evaluando. Aquellas relacionadas con daños anteriores pueden tomarse en cuenta para determinar el estado antes de la actuación, pero no para valorar el daño en sí. O sea, el daño ocurrido antes de la intervención que se está valorando, no

puede ser incluido dentro de la valoración del daño último. La restauración que se requiera deberá llevar al ambiente lo más cerca posible a la condición en que estaba antes de la intervención. Desde el punto de vista puramente técnico, lo que se evaluará es cuánto se alejó el ambiente de los procesos que venían ocurriendo antes de la intervención y después de la intervención.

Podría ser que la legislatura determinara que, como medida legal, se le requiriera al interventor un proceso de saneamiento mayor al que su actuación causó. Pero esto escapa a la valoración ambiental propiamente dicha y en cuanto a la toma de decisiones corresponde más al área legal y política.

Por ejemplo: puede ser que haya un bosque degradado por extracción de ciertas especies forestales, cuya composición florística esté empobrecida, su capacidad de retención del suelo disminuida por efecto de la erosión que es causada por grandes trochas y cuya biodiversidad haya sido grandemente afectada por efectos de contaminación (basura de las comunidades vecinas, lluvia ácida, etc) y de extracción indiscriminada de muchas especies de flora y fauna. Supongamos que, si se hiciera una evaluación del estado de conservación de este bosque, le correspondería un valor en porcentaje de 45% (en una escala de 0 a 100, donde 0 representa degradación total y 100 representa el mejor estado de conservación).

Basándonos en las condiciones anteriores, supongamos que en ese momento ocurre una intervención que produce un daño y es este daño el que desea evaluarse. El daño puede ser la instalación de una planta procesadora de papel, que para sus construcciones haya causado una mayor deforestación y que, para realizar sus construcciones, haya hecho extracción de material que luego haya depositado en áreas del bosque, etc. Entonces, una medida de la condición del bosque nos indica que de un estado de conservación de 45% pasó a uno de 30%. Si no se supiera que previamente ya existía una afectación del ambiente, se podría incurrir en el error de atribuirle (imputarle) toda la degradación a la intervención de la planta procesadora de papel y se le requeriría llevar al bosque a un estado de conservación de 80 o 90%. Sin embargo, si se valora la condición previa a la intervención y se determina que ya existía un deterioro, se comprende que el deterioro previo no es imputable. ¿Cuánto de este 30% es entonces imputable a la planta procesadora de papel? La diferencia entre 45% y 30%, o sea, 15%. Es lo que se le requeriría técnicamente que deberá mejorar ese ambiente hasta donde sea posible, para que lo deje lo más cerca de cómo estaba.

Entonces, en términos generales, el *daño ambiental* representa la diferencia entre la situación *con* intervención y *sin* ella, lo que obliga a conocer la condición del factor *antes* y *después* de la afectación. El Gráfico 1 permite una ilustración más precisa del daño ambiental, donde se muestra cómo se afecta el recurso natural (que en el gráfico se indica como “factor ambiental”) una vez que la operación que causa el daño ha entrado en actividad. En este gráfico se puede notar que la curva del recurso natural antes del daño es decreciente, lo cual no debe tomarse como un concepto general, sino que éste es un caso particular. La curva puede tomar muchas formas: podría ser constante (si ha llegado a un estado que se conserva a través del tiempo) o creciente (si está en un proceso de recuperación, natural o por intervención), o incluso variable, que sería lo más general. En este caso es decreciente, lo que indica que el recurso está en proceso de deteriorarse a través del tiempo (situación que lamentablemente es muy común en la actualidad. O sea, el valor ya ha sido afectado previamente por otra actividad humana independiente de la que se evaluará, como puede ser un bosque bajo el efecto de invernadero, lluvia ácida, efectos de fragmentación de hábitat por deforestación, degradación ambiental por contaminación, etc).

En términos matemáticos, el daño se expresaría por DA_j , el que está dado por el área entre las curvas f_1 y f_2 a partir del inicio t_0 , de modo que:

$$DA_j = \int_{t_0}^x [f_1(t) - f_2(t)] dt$$

donde,

- DA:** es el daño ocasionado al recurso natural j
 $f_1(t)$: explica el comportamiento del recurso natural (o factor ambiental) *sin* presencia de la actividad económica particular (o sea, *antes* del daño)
 $f_2(t)$: explica el comportamiento del recurso natural una vez que entra en operación la actividad económica (o sea, *después* del daño)
 t : tiempo
 x : tiempo que perdura la afectación en el factor j

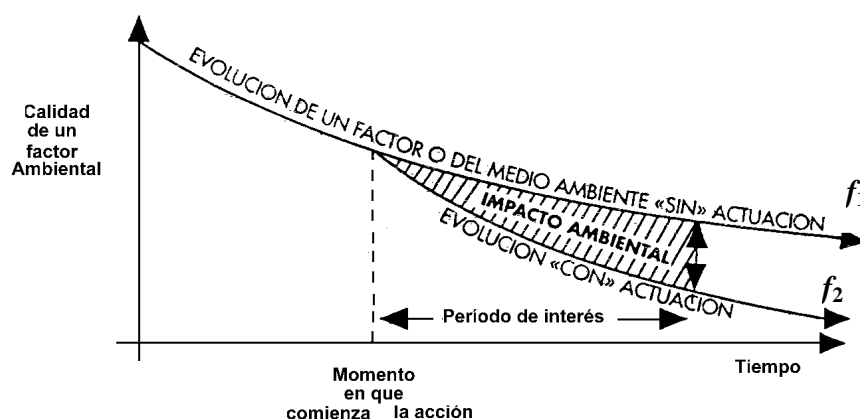


Gráfico 1. El impacto es la diferencia entre la evolución del medio ambiente "sin" y "con" el proyecto. (Fuente: Gómez, 1994.)

3.2. Componentes de la evaluación del daño ambiental

La evaluación económica del *daño ambiental* depende de dos componentes principales: el *daño biofísico* y el *daño social*. El *daño biofísico* se refiere a las afectaciones hechas en el medio natural que ocasionan un deterioro de las características del recurso natural. El *daño social* está relacionado con las afectaciones a la sociedad manifiestas en la pérdida de beneficios derivados del recurso natural afectado. El análisis de estos dos elementos permite una mayor comprensión de la magnitud del problema ambiental ocasionado, con lo que posibilita su evaluación económica.

Para establecer el *daño biofísico* es necesario determinar el tipo de alteración ocasionada y su relación con los recursos naturales afectados, considerando la composición de recursos tanto en el sitio del proyecto como en la zona de influencia (área fuera del proyecto que es alterada por la acción). Para ello se requiere de la identificación de los recursos naturales afectados con la alteración, como punto de partida para la evaluación *antes* y *después* de la actuación. El causante del daño será responsable por el cambio ocasionado al recurso natural, en lo que sea atribuible a su actividad.

Para establecer el *daño social* se requiere conocer los beneficios sociales que se dejaron de percibir con la afectación del recurso natural y la evaluación. También es necesario identificar las actividades de restauración necesarias para llevar a dicho recurso natural a su estado de

conservación inicial (o sea, *antes* del daño) y los costos asociados. Estos dos aspectos representan el agregado de daño social que es imputable al daño ambiental ocasionado.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Los *recursos naturales* comprenden aquellos factores del medio natural que son de algún provecho para el ser humano (como el agua, el aire, el suelo, los minerales, la vegetación, el relieve y toda forma de vida silvestre), y su conjunto representa el *capital natural*. Tomando en cuenta los períodos de tiempo en relación al ciclo de vida humano, estos pueden ser *renovables* (si pueden regenerarse) o *no renovables* (si no pueden volverse a reponer) (Mata y Quevedo 1990).

Las distintas actividades humanas requieren de un abastecimiento importante de recursos naturales (renovables y no renovables), lo que obliga a disponer de una cantidad y calidad suficiente de ellos. Para comprender la gama de recursos naturales existentes, se presenta una clasificación de los mismos, la cual se ha agregado en siete grandes grupos y éstos, a su vez, en subgrupos (Cuadro 1). Esta clasificación facilitará identificar de dónde provienen naturalmente los flujos de materias primas, productos y servicios que son aprovechados por la sociedad en sus actividades de desarrollo y mejoramiento del bienestar.

Cuadro 1. Clasificación de los recursos naturales, comentarios y ejemplos

| Recursos Naturales | | Comentario | Ejemplos |
|------------------------------|--|--|--|
| A. Geológicos y edafológicos | A.1. Recursos minerales | Estos recursos generalmente yacen a grandes profundidades, y difícilmente se afectan: es más común que su explotación (si es inadecuada) conduzca a una contaminación . | Cobre, petróleo, oro, plata, hierro, etc. |
| | A.2. Material de construcción | Las canteras (generalmente relacionadas con taludes o montañas) pueden producir grandes deslizamientos si no son explotadas adecuadamente. | Canteras: arena, piedra, ripio, etc. Ejemplo: el gran deslizamiento que hubo en 1992 en Cuenca - Ecuador que represó 2 ríos. |
| | A.3. Suelo | El suelo es el material o capa superficial no consolidado de la superficie terrestre, producto de la intemperización del material original, que tras largos períodos ha llegado a constituirse en capas diferenciadas u horizontales, cuyas características físicas, químicas y biológicas le permiten que ocurra crecimiento de la vegetación. Está formado predominantemente por compuestos inorgánicos (hasta más de 99%) con un % variable de sustancias orgánicas. Se compone de partículas minerales y orgánicas, y tiene sustancias en los tres estados. Se distribuye en capas u horizontes característicos, a cuyo conjunto se le llama perfil (Strahler 1977, Mata y Quevedo 1990). El suelo corresponde a las capas A y B del perfil. Suelo también se entiende como la capa arable de la tierra (0-20cm) constituida por materia orgánica, roca (material parental), minerales, aire y agua. | Barro, limo, arena, arcilla; podzol, latosol; piedra, rocas. En un kilo de suelo hay varios miles de millones de bacterias y microflora edáfica, alrededor de un millón de protozoarios y otro tanto de algas y hongos, decenas de pequeños animales, lombrices, insectos, etc., todos en interrelación. <i>La capacidad productiva del suelo depende mucho de las prácticas agrícolas y el trato que se le dé</i> ; de las sustancias aplicadas en su superficie, como los plaguicidas (Mata y Quevedo 1990). |
| | A.4. Subsuelo | En un perfil de suelo, corresponde al horizonte C, o sea, la zona donde se halla la roca madre erosionada (Strahler 1977). | Rocas sedimentarias, metamórficas y magmáticas; petróleo; gases. |
| B. Hídricos | B.1. Agua superficiales (continentales) | Comúnmente entrelazadas con las aguas freáticas. Por ello, si hay contaminación en aguas superficiales, esta puede contagiar los niveles freáticos. | Ríos, lagos, lagunas. Un problema se da cuando, por catástrofes naturales o al realizar construcciones, se tapan los drenes naturales (quebradas no drenadas en otra dirección o quebradas alimentadas por aguas freáticas), pues estas aguas buscarán nuevamente su curso, causando inundaciones. |
| | B.2. Aguas subterráneas | Comprende dos recursos: el agua y el acuífero que la contiene. Uno de los más importantes recursos minerales. Responde a condiciones específicas de calidad, para ser aprovechado y procesado tecnológicamente. Si va a ser aprovechado para consumo humano, económico, sanitario o industrial debe responder igualmente a condiciones específicas de calidad. Son sensibles a alteraciones externas. Incluye a las <i>Aguas freáticas</i> : las que tienen por base un estrato impermeable y por techo uno permeable (zona de aereación), los cuales se ven afectados directamente por los cambios en la superficie; y las <i>Aguas confinadas</i> (artesianas): están "protegidas" con una base o substrato impermeable y con un techo de estrato impermeable. / La dinámica de las aguas subterráneas se puede afectar por grandes asentamientos urbanos que ejercen gran presión sobre el suelo, y a su vez sobre los acuíferos. / Construcción de embalses sin estudios hidrogeológicos previos pueden causar desastres o grandes pérdidas económicas a pequeño o largo plazo, si se realizan inadecuadamente y no se toman las medidas necesarias, por lo que el embalse, literalmente, puede explotar o vaciarse. | Contaminación por derivados del petróleo desde las gasolineras, por ríos contaminados. Grandes construcciones sobre acuíferos pueden producir hundimientos (ejemplo, Ciudad de México)./ Si se explota por mucho tiempo un manto acuífero esto causa que baje su nivel; si luego se deja de explotar, el agua buscará nuevamente su nivel inicial. Si se han realizado construcciones sobre el sitio, el agua se infiltrará gradualmente por el suelo causando estragos en las construcciones (inicialmente por estacionamientos directamente por los cambios en la superficie; y las <i>Aguas confinadas</i> (artesianas): están "protegidas" con una base o substrato impermeable y con un techo de estrato impermeable. / La dinámica de las aguas subterráneas se puede afectar por grandes asentamientos urbanos que ejercen gran presión sobre el suelo, y a su vez sobre los acuíferos. / Construcción de embalses sin estudios hidrogeológicos previos pueden causar desastres o grandes pérdidas económicas a pequeño o largo plazo, si se realizan inadecuadamente y no se toman las medidas necesarias, por lo que el embalse, literalmente, puede explotar o vaciarse. |
| | B.3. Aguas marinas | Cuerpo que cubre un 71% de la superficie del planeta configurando la mayor parte de la hidrosfera. Aguas altamente mineralizadas que contienen un promedio de 34 gramos de cloruro de sodio y además cloruro de magnesio, sulfato de magnesio, calcio, bromuro de magnesio, bicarbonato de calcio y sulfato de potasio; y otras cantidades menores a los centésimos de gramo, por litro (Mata y Quevedo, 1990). | Canales, lagos, esteros, bahías, costas, mar. El transporte de materiales por mar puede acarrear contaminación si ocurren derrames, como en el caso del Exxon Valdez. Otro problema es la descarga de aguas contaminadas al mar. |

| Recursos Naturales | Comentario | Ejemplos |
|--|--|---|
| C. Atmosféricos | C.1. Aire Combinación de varios gases que constituyen la atmósfera terrestre, generalmente compuesto por nitrógeno (alrededor de 78%), oxígeno (un 20%) además de pequeños porcentajes de argón, dióxido de carbono, neón helio y kriptón (Mata y Quevedo 1990). | Sensibles a alternaciones externas. Su composición puede variar dependiendo del uso del suelo. Por ejemplo, los niveles de CO2 serán más altos en zonas industriales que en áreas boscosas. |
| | C.2. Clima (micro, macro) Conjunto de condiciones meteorológicas que se presentan en un área más o menos extensa del planeta y durante un período relativamente largo. El clima de una zona es resultado de aspectos físicos atmosféricos (humedad, viento, radiación, temperatura, estado eléctrico) que duran un período prolongado. Se distinguen diferentes tipos: <i>macroclimas</i> , <i>regionales</i> , <i>mesoclimas</i> , <i>microclimas</i> y <i>teleoclimas</i> (ver Glosario en Anexo 2). | Sensibles a efectos antrópicos. Ej: cambios de temperatura ambiental. Mientras menor sea la escala, más sensible puede ser el clima a los efectos de origen antrópico. Por ejemplo, la eliminación de la cobertura boscosa puede incrementar la temperatura, causando una mayor evaporación ./ En un bosque tropical el macroclima a la altura del dosel es diferente del existente a la altura de los arbustos, que reciben mucho menos luz, no son azotados por el viento y gozan de mayor humedad (Mata y Quevedo 1990). |
| | C.3. Viento Dirección y velocidad del aire en movimiento horizontal (Strahler 1977) | Vientos alisios. El viento puede ser una fuerza selectiva en un ecosistema. En sitios donde su velocidad es alta, encontramos a especies que han debido adaptarse a estas condiciones, como la vegetación en Monteverde, o en el Cerro Cacao. |
| D. Energéticos (Materiales con potencial de producir energía). | D.1. Energía calórica por combustión Recurso natural de la combustión de la biomasa (árboles, leña, carbón. hojas. ramas, etc.) y de la descomposición natural de desechos y organismos. | Leña, carbón; metano, gases naturales |
| | D.2. Energía eólica Energía obtenida por el aprovechamiento del movimiento que produce el viento. Recurso de bajo costo. | Energía producida por molinos de viento. |
| | D.3. Energía maremotriz (del oleaje) Energía obtenida por el aprovechamiento del movimiento que produce el agua, sobre todo en las mareas. Se aprovecha en sitios donde ocurren mareas altas (de más de 3 metros) | En Costa Rica aún no se da este desarrollo energético, pero se puede consultar ejemplos en Europa y Norte América. |
| | D.4. Energía solar Captación y aprovechamiento de la energía proveniente del sol. | Pailas, pilas, paneles solares. |
| | D.5. Energía geotérmica Energía que puede brindar el interior de la tierra, en zonas especiales donde el magma caliente está relativamente cerca de la superficie. (Mata y Quevedo (1990). Aguas termales (líquido o como vapor) confinadas. Generalmente asociada a vulcanismo; o en su defecto, aguas que yacen a grandes profundidades (grandes presiones), cuya presión es lo que permite el movimiento de las turbinas para la generación de energía hidroeléctrica. | Proyecto geotérmico Miravalles. |
| | D.6. Energía hidráulica Energía producida por el represamiento de ríos y lagos que es transformada en energía eléctrica. | Energía hidroeléctrica: represas, embalses, etc. |
| | D.7. Hidrocarburos y sus derivados Recurso natural agotable y cuya explotación debe ser cuidadosa pues en una utilización inadecuada puede causar desastres naturales. | Combustibles: Petróleo; metano, propano, etc. Utilizados para transporte, calefacción, para cocinar, en las industrias, etc. |

| Recursos Naturales | | Comentario | Ejemplos | |
|--|---|---|---|--|
| E.1. Diversidad (clasificación según la taxonomía) | E.1.1- Vegetal (Flora) | Organismos con clorofila capaces de fotosintetizar. Aquí se incluye lo que se denomina "flora", que pueden ser vasculares o no vasculares | Vasculares: Árboles, arbustos, hierbas, plantas acuáticas, algas. No vasculares: Líquenes, helechos, briófitas. | |
| | E.1.2- Animal (Fauna) | Organismos heterotróficos formados por células carentes de pared celular. [Conjunto de los animales de un país o región], que pueden ser Invertebrados o vertebrados | Invertebrados: Artrópodos (insectos, arañas, etc.), corales, moluscos, lombrices, anélidos, poliquetos, etc. En vertebrados se distinguen 5 grupos: Peces, anfibios, reptiles, mamíferos y aves. | |
| | E.1.3- Hongos | Organismos carentes de clorofila y pared celular, perteneciente al reino Fungi, el cual cuenta con aproximadamente 103 órdenes y 484 familias.. Son de tamaño muy variado (micro y macroscópicos), ya sea <i>unicelulares</i> o <i>pluricelulares</i> . Se alimentan por absorción: saprofitos (sobre materia en descomposición), parásitos (sobre seres vivos, causándoles enfermedad o muerte) o en simbiosis (asociados con otros seres vivos para beneficio mutuo) (Mata 1999). | Moho, levadura, champiñones, penicilina. La roya del café y el carbón del maíz. | |
| | E.1.4- Organismos unicelulares excepto hongos | Organismos unicelulares. Incluye al grupo de los <i>Monera</i> (sin núcleo diferenciado; carentes de membrana nuclear) y de los <i>Protista</i> (con núcleo diferenciado; con membrana nuclear). | Monera: Virus, rickettsias, etc. Protistas: Bacterias, algas azul-verdosas. | |
| | E.1.5- Recursos genéticos | Material capaz de transmitir la herencia. | ADN. Germoplasma (semillas, etc.) | |
| E.2. Ecosistemas (clasificación según las interrelaciones) | E.2.1- Oceánicos | Incluye zonas de pesquerías, profundidades oceánicas y océano abierto (Odum 1993). | Mares y océanos, tanto en su superficie como en las profundidades, y los recursos biológicos y físicos que presenta. | |
| | E.2.2- Humedales | E.2.2-a. Marinos / Litorales | Áreas litorales (marino-costeras) expuestas a los flujos de aguas oceánicas. Se entiende como las áreas de inundación de las mareas más altas hasta el área comprendida como el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, entre cero y seis metros de profundidad / Áreas cercanas a la costa. Incluyen estuarios, deltas, bahías, boca de los ríos, arrecifes (Bravo y Windevoxhel 1997) / (Odum 1993). | Marino-costeros (manglares, esteros, costas). Estero de Puntarenas, Manglares de Tárcoles, Golfo de Nicoya, Arrecife de Cahuita. |
| | | E.2.2-b. Estuarinos | Hábitat de aguas profundas y tierras adyacentes con influencia de mareas, a menudo semi-encerradas por tierra, parcialmente obstruida o esporádicamente accesible al océano; donde el agua oceánica es diluida por agua dulce que corre desde tierra adentro. La salinidad puede presentar gradientes debido a factores de evaporación, distancia a la línea de costa o mayor o menor caudal de agua dulce entre otros. La presencia de fauna y vegetación típica de estas áreas puede estar representada por moluscos y bosques de mangle (Bravo y Windevoxhel 1997) | Estero de Puntrenas. |
| | | E.2.2-c. Lacustrinos / Lénticos | Hábitats acuáticos que cuentan con una depresión topográfica o están represados naturalmente, por lo que forman lagos o lagunas. La salinidad del agua puede ser mareal y la vegetación está conformada por plantas emergentes, flotantes, musgos y líquenes Bravo y Windevoxhel 1997) / De aguas estacionarias o estancadas o con muy poco intercambio: lagos y lagunas (Odum 1993, Mata y Quevedo 1990) | Lagos y lagunas. Laguna de Palo Verde, Caño Negro. |
| | | E.2.2-d. Riberinos / Lóticos | Todos los ambientes acuáticos contenidos en los drenajes que periódica, permanente o temporalmente mantienen agua en movimiento. Se excluyen aquellos ambientes con dominancia de árboles, arbustos o vegetación emergente persistente (Bravo y Windevoxhel 1997) / De aguas en movimiento (Odum 1993) | Quebradas, ríos (Tárcoles, María guilar, Sierpe) y canales (Canales del Tortuguero). |
| | | E.2.2-d. Palustrinos / Humedales tipo marismas y pantanos | Humedales de tipo no mareal, con las siguientes características: (a) pueden contener cobertura vegetal o no, la vegetación puede estar representada por típicamente no exceden dos metros de profundidad y los valores de salinidad se mantienen debajo de 0.5 partes por mil (Bravo y Windevoxhel 1997) / (Odum 1993) | |

| Recursos Naturales | | Comentario | Ejemplos | |
|---------------------------------|----------------------------------|---|---|---|
| | E.2.3- Bosques | Ecosistema vegetal caracterizado por sus especies maderables de regular a gran tamaño, además de variadas especies menores distribuidas en <i>sinucias</i> . Cobija un gran número de especies animales que dependen de él (Mata y Quevedo 1990). / Presencia de árboles. Incluye al recurso "forestal". / Conjunto de plantas de un país o región. Conjunto de plantas de un país o región (RAE 1992). | Bosque ripario, anegado, de montaña. Bosque de galería. Bosque Húmedo Tropical, Bosque Seco. | |
| | E.2.4- Sabanas y Praderas | Formaciones de gramíneas (RAE 1992). <i>Sabana</i> : Ecosistema de tierras bajas, con un régimen climático de estacionalidad muy marcada, con época de seca y de lluvias en zonas tropicales y subtropicales. La <i>sinucia</i> está formada de gramíneas, acompañada de arbustos leñosos dispersos o en grupos (Mata y Quevedo 1990). | Estepas, praderas, pampas. / Muchas de las sabanas fueron bosques que al ser talados y dedicados al pastoreo fue imposible recuperarlos pues se encontraban en la zona de transición entre el bosque tropical seco y las regiones áridas (Mata y Quevedo 1990). | |
| | E.2.5- Domesticados | E.2.5-a. Embalses | Embalse: Gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc. (RAE 1992). | Lago de Arenal. |
| | | E.2.5-b. Plantaciones forestales | Plantación: Terreno en el que se cultivan plantas de una misma clase (RAE 1992). Plantación forestal correspondería a plantación de <i>árboles</i> de una misma clase (especie), por lo que constituye un conjunto artificial de árboles plantados por el ser humano en un orden preestablecido. | Plantaciones de pochote, melina, teca, laurel, etc. Que podemos encontrar en las reservas forestales o fincas forestales del país. Este tipo de proyectos requieren por ley de un plan de manejo para su ejecución. |
| E.2.5-c. Agroecosistemas | | Cultivo que el ser humano crea sobre el medio natural para explotar los recursos del suelo, ya sea para obtener plantas o animales de uso inmediato o para la agroindustria. Utiliza una diversidad de productos, control integrado de plagas y en él se practica el aprovechamiento de residuos orgánicos, junto con la rotación de cultivos (Mata y Quevedo 1990). | Cultivos de café orgánico en el área de Monteverde. Cultivos de hortalizas orgánicas en Zarcero, Arenal. | |
| F. Paisaje | F.1. Vistas panorámicas | Belleza escénica. Comprende elementos naturales, agrosociales y mixtos. | | |
| | F.2. Mosaicos de hábitat | Sitios donde el tipo de hábitat no es homogéneo, sino que presenta una diversidad de hábitats entrelazados, que varían en tamaño, forma y distribución relativa. | Evaluación mediante mapas (como el mapa del Parque Nacional Carara) | |
| G. Elementos estéticos | | Componentes naturales que producen sensaciones de percepción de belleza, embeleso o admiración. Las sensaciones son variadas basándose en cualquiera de los sentidos: visuales, auditivas, olfativas, táctiles o gustativas. | La sensación agradable al acariciar el pelaje de una martilla, el olor de una flor, el canto de un jilguero, el sonido del agua, el aroma de la tierra húmeda después de una llovizna. | |

Estos recursos poseen una serie de características, cuyo análisis permite una valoración del estado del recurso. Sin embargo, no es pertinente examinar todas las características de un recurso para llegar a una adecuada valoración, sino que la selección de algunas características que son indicadoras de la condición del recurso permite realizar esta evaluación adecuadamente. Los criterios de selección de cuáles características evaluar variarán según la situación particular, pues dependerán del tipo de impacto ocasionado, el tipo de recurso involucrado, las características geográficas donde ocurrió, etc. Algunas características son más comunes de analizar en casi cualquier evaluación, por lo que se presenta una lista sugerida preliminar en el Anexo 2. Estos cuadros pueden servir de chequeo para identificar la lista apropiada para el caso particular, y para facilitar de no dejar pasar por alto alguna característica relevante.

Como se mencionó, este listado sirve para una ubicación general inicial. Una vez que ocurra el impacto se valorará cuáles análisis más específicos se deberán realizar. Por ejemplo, si el impacto fuera sobre el recurso hídrico, los análisis necesarios serían diferentes en el caso de un derrame de hidrocarburos, que si fuera un efecto contaminante por actividades agrícolas. Por ello, se incluye en un gran grupo el factor de análisis fisicoquímico, que deberá restringirse más específicamente una vez que esté definido qué tipo de impacto ocurrió. Por ejemplo, el análisis físico-químico incluiría análisis de herbicidas, pesticidas, fosfatos, nitratos, fenoles, amoníaco, radioactividad, conductividad y otros, dependiendo del tipo de impacto.

4.1. Beneficios sociales que derivan de los recursos naturales

La sociedad se beneficia directa e indirectamente de los recursos naturales por diversos beneficios que obtiene de ellos, lo cual es más claro si se analiza a través de una matriz de beneficios versus recursos naturales, lo cual se muestra en el Cuadro 2. Dichos beneficios están agrupados en siete componentes, los cuales se clasifican como aportes del capital natural a la sociedad, y son: (1) materia prima, (2) consumo de bienes y servicios ambientales, (3) seguridad, (4) esparcimiento, (5) desarrollo espiritual, (6) protección a desastres naturales, y (7) Protección a la salud. Por otro lado, es necesario determinar el flujo que genera el capital natural en función de estos componentes, lo que se indica en el, donde se presenta una explicación y ejemplos de cada uno de ellos.

Cuadro 2. Listado y definición de beneficios que se derivan de los factores ambientales

| Beneficios Sociales | Comentario | Ejemplo |
|---|--|--|
| Materia prima que abastece los procesos productivos | Proceso de transformación de la materia prima al sistema económico para la producción de bienes y servicios. | Madera, agua, aire, suelo, rocas, arena, fauna, lombrices, bacterias etc. |
| Consumo de bienes y servicios ambientales | Bienes y servicios presentes en el sistema natural y que son aprovechados por la sociedad humana. | Respirar, tomar agua, fertilización por guano, mejoramiento de suelos mediante incorporación de lombrices, construcción con arena, elaboración de muebles con madera, elaboración de papel a partir de pulpa de árboles. |
| Seguridad | Posibilidad de abastecimiento para necesidades futuras. | Germoplasma disponible en ecosistemas naturales para utilización en futura biotecnología, farmacología, medicina, agricultura, etc. |
| Esparcimiento | Capacidad del medio natural de ofrecer tranquilidad, recreación e inspiración. | Belleza del paisaje, respirar aire puro, la tranquilidad (sin ruido de ciudad, volúmenes soportables y agradables, sonidos agradables como el murmullo del agua o el susurro del viento, etc.). Ríos y mares para nadar, cataratas. Aguas blancas. Observación de la vida silvestre en su medio natural. Pesca, caza, etc. Sonidos de la naturaleza. |

Para facilitar el uso de esta información en la valoración del daño social ocasionado por la alteración del recurso natural en particular, se requiere de una estimación de la importancia que tiene dicho factor en la provisión de bienes y servicios a la sociedad. Esta puede reflejarse en la condición del recurso natural de referencia, establecida fundamentalmente por su estado de conservación. Efectivamente, la calidad y cantidad de los flujos que aporta el capital natural están determinados por el estado de conservación del mismo, de modo que, si el recurso natural está en su mejor estado de conservación, se espera que esté brindando el máximo de flujos a la sociedad.

4.2. Cualidades intrínsecas de los recursos naturales

Cada recurso natural tiene cualidades intrínsecas que determinan su potencial natural para realizar sus funciones ecológicas. Éstas también determinan el potencial de brindar los distintos flujos o servicios ambientales de los que se beneficia la sociedad humana. Estas cualidades o indicadores son: (1) Escala, (2) Elasticidad, (3) Representatividad, (4) Complejidad y (5) Componente clave. Para una mayor comprensión de cada una de estas cualidades, en el Cuadro 4 se presenta una breve explicación ejemplificada.

Cuadro 4. Cualidades intrínsecas de los recursos naturales por considerar en su análisis

| Cualidades | Comentario | Ejemplos |
|---|--|---|
| Escala | Dimensión. Magnitud del efecto temporal o espacial del recurso natural. Según la escala espacial, pueden ser de 3 tipos <i>Macroescala</i> : escalas amplias de kilómetros o más; <i>mesoescala</i> : escalas de algunas hectáreas; o <i>microescala</i> : escalas de unos pocos metros cuadrados (DeAngelis y White 1994) | La represa de Arenal (con los canales), tiene un efecto en mayor escala que la represa de Cachí. La presencia de un árbol <i>Ficus</i> en fructificación tiene un efecto de escala mayor que el de un jobo. La magnitud del efecto de la laguna de Palo Verde tiene un mayor efecto como humedal que la magnitud del efecto del lago de La Sabana. |
| Elasticidad en los procesos, capacidad de recuperación ("Resilience") | Fragilidad ecológica (muy poca capacidad de recuperación) | Los pólipos de un coral generalmente mueren al pisoteo; la capacidad del coral de recuperarse es lenta o reducida: es muy frágil. Una laguna de inundación estacional (humedal) se adapta mejor a cambios ambientales: es menos frágil que un coral. / Las mariposas con altas tasas de reproducción son frágiles en apariencia, pero ecológicamente tienen gran elasticidad. Una danta, en apariencia robusta, ecológicamente es muy frágil por sus escasas poblaciones y baja capacidad de reproducción. El árbol de guayacán, aunque soporta el efecto del fuego, ecológicamente es frágil por su limitada capacidad de recuperación. |
| | Renovabilidad | <i>Extinción</i> . La recuperación del sapo dorado ya no es posible: su extinción es un proceso irreversible. La recuperación de las poblaciones de la cigüeña "galán sin ventura" es posible pues quedan individuos para repoblar. <i>Ecosistema</i> . Un bosque secundario tiene una mayor capacidad de recuperación que uno clímax. <i>Hidrología</i> . El cauce de un río se renueva más rápidamente que el crecimiento de un bosque primario. Ciclos. Los ciclos biogeoquímicos de elementos gaseosos tienen una mayor capacidad de renovación que los de los elementos sedimentarios: el nitrógeno (N) tiene un ciclo biogeoquímico con mayor capacidad de renovación que el fósforo (P). -- Si hay un aumento en la disponibilidad de nitrógeno, el ciclo se adapta. Pero no si es P; las grandes cantidades de fósforo que se extraen para utilizarlas en abonos orgánicos que eventualmente se pierden en el agua de los ríos, van a los fondos profundos del mar donde son difícilmente recuperables: no regresan al ciclo. |
| Representatividad | Componente que en sí mismo representa las características propias de un grupo, sistema o región en un momento determinado. | El Parque Nacional Corcovado es representante del bosque húmedo tropical. El árbol de espavel es representativo de bosques ribereños. Una población de chanchos cariblancos de Corcovado es más representativo de la especie que otra población de un área más alterada. |

| Cualidades | Comentario | Ejemplos |
|------------------|--|---|
| Complejidad | Cantidad de interacciones en las que participa y a las que afecta. Variedad de elementos y de las interacciones entre ellos. | Un bosque tropical tiene una mayor complejidad (# de especies y de interacciones entre ellas y el medio) que un bosque templado. Un bosque natural es más complejo que una plantación forestal (en # de especies y tipo y # de interacciones). Una perturbación en el nacimiento de un río puede tener mayores efectos a nivel de cuenca que si la perturbación ocurre en la parte baja de la cuenca. |
| Componente clave | Componente que determina el sostén adecuado de una variedad de otros componentes. | Una especie clave (el <i>Ficus</i>) o un ecosistema (el manglar): de ellos dependen otros elementos y si desaparecen los otros se ven fuertemente afectados. El ecosistema de manglar para el mantenimiento de protección de la línea de costa y la reproducción de mariscos. |

4.2.1. Valoración de las cualidades analizadas

En términos generales, es posible obtener una evaluación del potencial de un recurso natural determinado. Ese potencial es el que se vería afectado con la alteración ocasionada por una acción humana, y es precisamente esa afectación del potencial la que hay que analizar para establecer la magnitud del daño ambiental ocasionado. En esta evaluación y análisis es donde se propone utilizar los parámetros identificados, para lo que se ha establecido una valoración de cada uno de ellos en relación con la valoración total del recurso natural en análisis. Esto significa que para tener un parámetro global sobre el recurso natural se requiere la valoración parcial de los indicadores que se usarán para evaluarlo. Cada una de estas cualidades tiene un peso diferente en la valoración global, pues tienen diferente importancia sobre la integridad de los recursos. Por esto, se valoró la importancia relativa de cada cualidad, asignándole el respectivo valor porcentual; este valor es excluyente, o sea, que la suma de todos debe ser 100%. La valoración asignada para cada una de las cualidades se determinó a través de la consulta a profesionales: es el resultado del análisis realizado por grupos de trabajo de profesionales que definieron el peso relativo de cada cualidad en la evaluación del recurso natural (la lista de participantes se puede consultar en el Anexo 3). Los resultados se muestran en el Cuadro 5. El método se ha seleccionado de manera que estos valores puedan ser ajustados de ser necesario, que es la ventaja que nos da el trabajar con parámetros en lugar de con valores constantes.

Cuadro 5. Ponderación de las cualidades que se utilizan en la evaluación y análisis de un recurso natural

| Cualidades | Ponderación (porcentajes) |
|--------------------|---------------------------|
| Elasticidad | 26.30 |
| Componente clave | 21.21 |
| Complejidad | 20.99 |
| Escala | 17.22 |
| Representatividad | 14.27 |
| Valor total | 100.00 |

Es esperable que exista una relación directa entre la evaluación de cada uno de los indicadores anteriores y el *potencial ecológico*, entendido como la capacidad del recurso para brindar servicios ambientales y cumplir sus funciones ecológicas. Por lo tanto, esta relación se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_b = \sum_{i=1}^5 \beta_i w_i \quad (ec.1)$$

donde,

P_b es el potencial del recurso natural (%)
 w es la cualidad i del recurso ($0 < w < 10$)
 β es ponderación de la cualidad i (%)

Dado que P_b es un valor entre 0 y 100%, se puede establecer una clasificación del recurso en términos de su potencial ecológico, tal y como se expresa en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Clasificación del potencial ecológico del recurso natural

| Categoría | Rango (%) |
|-----------|-----------|
| Muy bajo | 0-20 |
| Bajo | 21-40 |
| Regular | 41-60 |
| Alto | 61-80 |
| Muy alto | 81-100 |

4.3. Estado de conservación de los recursos naturales

El *estado de conservación*² se refiere al grado de mantenimiento de los procesos, o sea, a la condición del factor en relación con su capacidad para garantizar su continuación y funcionamiento. Este es un indicador de cuán alejado se está del estado de conservación en que el recurso tiene la máxima capacidad de realizar sus funciones ecológicas y brindar los servicios ambientales que benefician a la sociedad. Si el indicador, medido en porcentaje, tiene un valor de 100%, indica que el recurso natural está en su máximo estado de conservación. Por el contrario, si dicho valor es de 75%, indica que ha existido un deterioro del recurso equivalente al 25%, atribuible a eventos pasados. En este sentido, el estado de conservación toma un valor entre 0 y 100%.

Hay una serie de indicadores o criterios que se han identificado para evaluar el estado de conservación de los recursos naturales. En el Cuadro 7 se presenta la lista de indicadores, con comentarios y ejemplos para una mejor comprensión de los mismos. Para efectos de aplicabilidad de estos indicadores se requiere tener presente que, dependiendo del sitio en particular, se debe hacer una selección previa de los indicadores específicos a considerar y de la ponderación que cada uno de ellos tendrá en relación con el valor global del recurso natural.

Para facilitar la asignación de la ponderación se puede considerar una distribución uniforme donde todos los indicadores tengan una misma ponderación, de tal forma que ningún indicador sea más importante que el otro. Por ejemplo, si se han seleccionado cinco indicadores criterios para la evaluación de un recurso natural, entonces cada uno de ellos tendrá una ponderación de 20%, de modo que la suma total sea el 100%. Por otro lado, en los casos en que indicadores seleccionados no tienen igual ponderación, será necesario una evaluación de la importancia de cada uno de ellos para la asignación de una ponderación diferenciada donde la suma total sea 100%.

² El estado de conservación se puede obtener mediante diferentes métodos: uso de información sistemática disponible, consulta de expertos, consulta de literatura, comparación entre sitios similares (en tiempo o espacio).

Cuadro 7. Posibles indicadores para la determinación del estado de conservación del recurso natural

| Indicadores | | Comentario | Ejemplo |
|--|---|--|---|
| Identificación de <i>especies dominantes</i> . | | El tipo de especies dominantes en un ecosistema define en parte la dinámica existente y el tipo de especies que coexisten | En el bosque seco predominan en tamaño y número árboles como el pochote, guanacaste, roble de sabana y otras especies. Esto a su vez determina el tipo de mamíferos y aves presentes que utilizan este recurso. Las características biofísicas de cada sitio imponen los límites ambientales en los que pueden sobrevivir las diferentes especies, con lo cual se termina de conformar el tipo de cada clase de ecosistema. |
| Presencia de <i>especies clave</i> | | Identificación de especies que ayudan a determinar la condición del ecosistema | El guarumo es un árbol que prospera en áreas abiertas, por lo que su presencia indica estadios tempranos de sucesión o áreas alteradas. Las aves formicáridas (hormigueros) son tímidas y se mantienen en las sitios húmedas y oscuros de los bosques, por lo que su presencia por lo general indica un bosque sano y avanzado en sucesión. |
| <i>Composición de especies</i> | | Lista de las especies presentes. El grupo a enlistar dependerá de cuál fue el recurso natural afectado. Las especies presentes en un ecosistema siguen patrones que pueden explicar la condición del ambiente. Una idea general puede obtenerse mediante una evaluación ecológica rápida | La composición de especies es una de las características de los diferentes estadios sucesionales, así como del tipo de ecosistema en el que uno se encuentra. Por esto, el análisis de la biota presente en un sitio me da indicación de las características biofísicas del lugar, aunque no las pudiera medir. |
| Grado de perturbación | Tipo de <i>especies indicadoras</i> presentes (positivas y negativas) | Especies cuya sola presencia es descriptiva del estado de conservación de su entorno, ya sea indicando una condición sana, u otras que indican una condición deficiente. | La presencia de las aves como los martines pescadores cerca de fuentes de agua puede ser un indicador de aguas de buena calidad. La presencia de coliformes en el agua es indicación de aguas contaminadas. Las cianobacterias tienden a estar presentes en mayor cantidad en aguas <i>eutroficadas</i> y han sido reportadas como típicas de aguas contaminadas con materia orgánica (Peinador 1999). |
| | Tamaño y # de fragmentos | El grado de fragmentación del ambiente es un índice de conservación. Los ecosistemas con mayor fragmentación tienen una menor probabilidad de persistencia en el tiempo, y menor capacidad de renovabilidad. | El bosque tropical en el Parque Nacional La Amistad-Caribe tiene un patrón mucho menos fragmentado que el bosque seco en el Área de Conservación Tempisque. |
| | Grado de interconexión | En la medida en que los fragmentos puedan estar interconectados entre sí, se puede favorecer procesos de recolonización y contrarrestar efectos de aislamiento. | Los ecosistemas terrestres pueden tener la oportunidad de interconexión mediante corredores biológicos. Esto sería muy difícil en el caso de islas (al menos para especies terrestres). |
| | Tipo y cantidad de matriz | El ambiente que rodea a los parches determina también el grado de aislamiento, y puede incluso presentar diferentes tipos de amenaza hacia la persistencia de los ecosistemas presentes en los parches. | Las áreas agrícolas o residenciales son frecuentemente la matriz dentro de las que están inmersas las áreas naturales protegidas. Por ejemplo, el Parque Nacional Braulio Carrillo está rodeado de zonas de cultivo como café y banano, y de áreas residenciales o poblados. |
| <i>Diversidad</i> | | Muy valiosa pero no indispensable: información costosa y difícil de obtener. Una Evaluación Ecológica Rápida podría dar una aproximación. Esta información da una mejor descripción de la estructura ecológica del ecosistema., pues indica tanto la cantidad de individuos por especie, como su abundancia (relativa) con relación a la de otras especies | Un bosque pluvial presentará una mayor diversidad de especies que un bosque seco. Un bosque natural presentará mayor diversidad de especies que una zona agrícola o un agroecosistema. La diversidad probablemente será mayor en un río sano que en uno que sufre contaminación. |

| Indicadores | Comentario | Ejemplo |
|---|---|--|
| Relaciones ecológicas más importantes del sistema si han sido afectadas. | El ecosistema está definido por los elementos bióticos (la biodiversidad) y abióticos (ambiente físico) que lo conforman, pero su importancia a nivel de sistema consiste en el tipo de relaciones existentes entre los elementos que lo conforman. | Entre las relaciones ecológicas pueden contemplarse los ciclos biogeoquímicos, los flujos de energía, las redes tróficas (relaciones depredador-presa; huésped hospedero), relaciones simbióticas, etc. |
| Condición poblacional según densidad o distribución (según fuentes reconocidas como UICN, MINAE, CITES, etc.) | La abundancia y la distribución de las especies son variables de la condición poblacional que nos dan una clara indicación de su estado de conservación. Para ello, diferentes organizaciones han desarrollado una lista de criterios relevantes. | Algunos criterios utilizados: <i>en vías de extinción</i> (poblaciones muy bajas que dificultan mucho la reproducción; distribución restringida muy fragmentada); <i>poblaciones reducidas</i> (sus niveles poblacionales se acercan a niveles donde la reproducción será tan difícil que pueden llegar a estar en peligro de extinción); <i>vulnerables</i> (las que habitan en condiciones que las acercan a un futuro de poblaciones reducidas, ya sea por condiciones intrínsecas –como un bajo potencial biótico- o por características del hábitat – bajo intensa deforestación -); <i>endémicas</i> (especies que se encuentra únicamente en un área geográfica y en ningún otro sitio), entre otros. |
| Calidad | Cantidad disponible local y regionalmente. | La calidad es un indicador fundamental, pues la disponibilidad del recurso no es suficiente si éste es de calidad inferior. Por ejemplo, una especie con características genéticas erosionadas (baja heterocigocidad, por ejemplo) o con condiciones de salud deplorables; un mineral presente pero de forma muy fraccionada que dificulta su utilización, estudio o conservación ; un bosque primario localizado, pero muy fragmentado. |
| Cantidad | Cantidad disponible local y regionalmente. | Acuíferos: verificar si los niveles <i>freáticos</i> (contacto directo de aguas subterráneas con la superficie) o <i>piezométricos</i> (cuando el agua subterránea no tiene contacto directo con la superficie) se mantienen estables. La cantidad de individuos (el tamaño poblacional) de una especie es un indicador de su estado de conservación. |

Nota: Debe tenerse claro que, además de la importancia de mantener adecuadamente los recursos naturales, es fundamental proteger los procesos que dan origen a la formación de estos recursos. Dentro de estos procesos podemos citar: (1) Ciclo hidrológico (evapotranspiración, radiación, precipitación); (2) Formación del suelo; (3) Ciclos biogeoquímicos; (4) Sucesión ecológica; (5) Clima; etc.

En este punto es importante resaltar y enfatizar que, para lograr restauraciones exitosas, se deberá desarrollar en el país un Sistema de Vigilancia Ambiental (SIVA) que mantenga una base de datos sobre la condición de los ecosistemas. Este sistema proveerá la base para realizar comparaciones necesarias entre la condición inicial y la resultante por el daño ocasionado al recurso natural. Además, ayudará a definir la recuperación a la que se debe someter el recurso natural para aproximarle lo más posible a su condición inicial. Otro aporte importante del sistema es la generación de estadísticas en el tiempo, la cual facilitará el análisis de la evolución de los recursos.

Para contar con el SIVA, se deberá recabar información estratégicamente seleccionada para que sea indicadora del estado general, y esta base de datos deberá mantenerse actualizada. La información puede obtenerse a través de los Estudios de Impacto Ambiental que ya se realizan en los diferentes proyectos de desarrollo, en las Evaluaciones Ecológicas Rápidas de diferentes proyectos de evaluación o investigación, o en los diversos estudios que realizan distintas organizaciones en Costa Rica en relación con los recursos naturales. En este caso se requerirían formatos (métodos) homogéneos que permitan integrar la información obtenida de diferentes fuentes. Por otro lado, se velaría por mantener vínculos eficientes de cooperación entre todas las entidades relacionadas con la gestión de recursos naturales.

4.4. Definición de acciones que conducen a daños ambientales

Las *acciones* son intervenciones que realiza el ser humano en el ambiente. Una lista de las *acciones* que afectan (positiva y negativamente) el ambiente fue inicialmente desarrollada por Leopold *et al.* (1971, “Matriz Interactiva de Leopold”). Para nuestros efectos, interesan las acciones negativas, que son las que ocasionan *daño*. En el Cuadro 8 se muestra el resultado del análisis de acciones concretas que producen daño. Para una mejor claridad, éstas han sido adaptadas y clasificadas, agrupando las actividades en unos pocos grupos, según su similitud, para facilitar su identificación y la cuantificación de daños ambientales. Los grupos son: (1) Contaminación, (2) Introducción de organismos exóticos, (3) Deforestación, (4) Quemadas e Incendios, (5) Extracción, (6) Modificación del paisaje, (7) Modificación del régimen hídrico, (8) Usos abusivos del suelo y (9) Construcciones.

Cuadro 8. Acciones que pueden causar daños a recursos naturales

| Acciones | Comentario | Ejemplos |
|-------------------------------------|--|--|
| Contaminación | Agentes tóxicos o infecciosos que molestan o perjudican la vida, la salud y el bienestar del ser humano o de la biodiversidad; que degradan la calidad del ambiente (aire, agua o tierra) y en general el equilibrio ecológico, los bienes particulares y públicos en general. Acciones de vertimiento de sustancias, gases, materiales, sonidos, etc., que sobrepasen la capacidad de carga del sistema (Mata y Quevedo 1990). Alterar, dañar alguna sustancia o sus efectos la pureza o el estado de alguna cosa (RAE 1992). Pueden ser químicos ó sónicos. También biológicos (especies exóticas, ferales, transgénicas, etc.), que por su importancia, es pertinente clasificarlos separadamente como organismos exóticos. | Botar basura a un río. Lluvia ácida sobre un bosque. . Ruido excesivo, vibraciones que afectan el comportamiento natural. Uso de dosis excesivas de agroquímicos prohibidos o de efectos nocivos comprobados en la salud humana o en los ecosistemas;, aplicaciones indiscriminadas o frecuencia indebida en la aplicación de los mismos. Vertidos en el mar, vertederos, descargas de pozos de petróleo, vertidos de residuos, tanques y fosas sépticas, emisiones de gases, lubricantes usados. Almacenamiento, cementerios de vehículos.. Uso inadecuado de agroquímicos u otras sustancias tóxicas o peligrosas. Situación y tratamiento de residuos orgánicos o radiactivos. Contaminación del agua subterránea por letrinas y tanques sépticos. Sustancias tóxicas que llegan a las aguas subterráneas |
| Introducción de organismos exóticos | Introducción de especies ajenas al ecosistema autóctono (también se conoce como contaminación biológica). | Los peces tilapia y trucha, que tienden a eliminar por competencia a los peces nativos. El zacate de jaragua que, por su predisposición a promover fuegos y sobrevivir a ellos, tiende a eliminar a las otras especies vegetales nativas. |
| Deforestación | Remoción de la cobertura boscosa en diferentes grados. Se refiere sobre todo a afectación a bosques. | Tala, tala rasa. Extracción maderera. Tumba, roza y corta. "Mejoras" para producir terrenos para agricultura o ganadería, o desarrollos turísticos o urbanos. |
| Quemas e Incendios | Alteración del sistema natural por fuegos controlados y no controlados en diferentes ecosistemas, incluyendo zonas perturbadas como potreros y tacotales. | Quemas estacionales para eliminar matorrales, charrales, malas hierbas y mantenimiento de pastizales. Fuegos para quema de basura. Incendios furtivos para dirigir fauna silvestre a sitios específicos y lograr obtener piezas de cacería. Muchas de éstas se vuelven incontrolables y se transforman en incendios. |
| Extracción | Recolección de recursos naturales (vida silvestre, agua, materiales del suelo o subsuelo, etc.), así como de subproductos derivados de estos. La cacería se considera una actividad extractiva. / Una perforación inadecuada de un complejo acuífero con aguas salobres y aguas dulces (cerca de la costa) puede producir salinización o contaminación del agua dulce. Extracción de bosques, agua, tajos, cauces ríos, subsuelo. | Captura de aves canoras. Recolección de pichones para mascotas. Cacería de especies para carne. Extracción de orquídeas, lana. Extracción de arena (u otros materiales) de los lechos de los ríos. Tajos. Recolección de flora silvestre, de agua, de materiales del subsuelo y de materiales de ríos del suelo y subsuelo. Caza y pesca. Voladuras, y perforaciones (incluyendo de pozos), dragados. Tajos. Tala aserrío, socola, trasiego de madera. |
| Modificación del paisaje | Cambios en estructura, composición, apariencia, etc, del sistema natural. Transformación del territorio. | Modificaciones del hábitat: alteración de la cubierta terrestre. Minería (cielo abierto o cerrado). Cambios en el uso del suelo. |
| Modificación del régimen hídrico | Alteración de la hidrología, alteración del drenaje, control de ríos, modificación de flujo, canalización, riego. Modificación de la dinámica natural del sistema hidrológico (superficial y subterráneo) por disminución o aumento de humedad. | Drenado, relleno o desecamiento de humedales. Drenado de manglares para construcción o para establecimiento de cultivos. Aterramientos y drenajes. Construcción de canales para evacuación de aguas. Rellenos. Anegación de terrenos. |
| Usos abusivos del suelo | Prácticas de uso del suelo que modifican su dinámica y lo afectan reduciendo su potencial. | Cultivos en pendientes excesivas que producen erosión, lixiviación, etc. Compactación del suelo, lixiviación, erosión. Vertido o depósito de materiales de diversa índole que modifican las características físicas del suelo. |
| Construcciones | Alteración del ambiente natural por incorporación de estructuras artificiales en el medio para el desarrollo humano | Urbanizaciones, construcción de aeropuertos, autopistas, carreteras, vías férreas. Cables y elevadores. Líneas de transmisiones. Oleoductos. Dragados, revestimiento de canales. Presas y embalses. Estructuras en alta mar. Túneles y estructuras subterráneas. |

5.1. Evaluación económica del daño ambiental – aspectos biofísicos

Se debe procurar la restauración³, de un recurso natural cuando a éste se le ha ocasionado un daño biofísico. En este caso, para realizar la cuantificación económica asociada a esta restauración, debe identificarse los niveles presentes en el recurso *antes* de la alteración. La recuperación del recurso natural hasta los niveles aceptables está determinada por la magnitud del daño ocasionado, las características del recurso natural, el tiempo de la recuperación y el área afectada. Analíticamente, el costo de recuperación (*CR*) sería el área correspondiente bajo la curva $f(x)$ en el intervalo de tiempo (0, *T*), donde x es un vector de variables que explican la afectación biofísica del recurso natural.

$$CR = \int_0^T f(x)dx$$

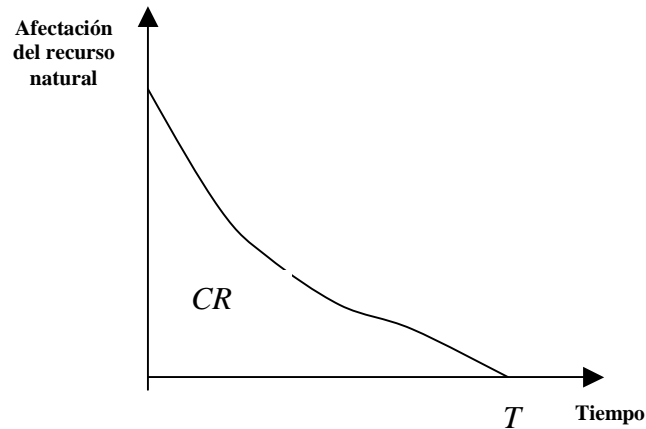


Gráfico 2. Aproximación del costo de recuperación del recurso natural afectado

Se espera que una vez recuperado el recurso natural, éste brinde nuevamente los beneficios de los bienes y servicios que mejoran su bienestar. Esto exige, por tanto, precisar la condición inicial y final del recurso natural afectado por la alteración humana, para poder determinar, de una manera justa, la responsabilidad del causante del daño. Lo anterior es necesario, como antes se señaló, porque muchos recursos naturales han sido ya afectados por distintas actividades humanas.

La restauración de un recurso natural hasta su estado inicial previo a la alteración, implica la ejecución de una serie de actividades que tienen que desarrollarse y que representan costos que deben ser cubiertos por quien causó el. La identificación de estos costos es la tarea principal por realizar, y éstos dependen de la magnitud del daño y del tiempo de restauración del recurso natural afectado, así como el nivel de restauración que se deba alcanzar, determinado por el estado de conservación en que se encontraba el recurso en el momento en que fue afectado.

Como se estableció en el Cuadro 9, una acción específica puede afectar uno o más recursos naturales a la vez. Esto indica que se deben restaurar cada uno de estos recursos afectados, por lo que el costo total debe ser la suma de todos los costos particulares asociados a cada recurso. Para lograr esta estimación es necesario determinar, en unidades físicas, la magnitud del daño, de modo que se pueda inferir la inversión en la restauración por unidad de medida. Por ejemplo, la deforestación afecta la cobertura de

³ Las actividades necesarias para lograr la restauración se pueden identificar a través de diferentes métodos: uso de información sistemática disponible, consulta de expertos, consulta de literatura, comparación entre sitios similares (en tiempo o espacio).

bosque, por lo que se puede determinar cuántas hectáreas se afectaron y cuál será la inversión en restauración por hectárea.

La estimación del costo total de restauración del recurso natural dependerá de las características intrínsecas del mismo, ya que éstas determinarán, a la vez, el conjunto de actividades que deberán realizarse en la restauración. Entre más complejo sea el factor, más elementos por recuperar se presentarán. Cada una de las actividades a realizar demanda una serie de recursos y de insumos. Los precios y las cantidades de los recursos y de los insumos a utilizar explican el total de costos. Esta relación se puede establecer como sigue:

$$CR = \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_i q_{ij} (1+r)^{-t} \quad (\text{ec. 2})$$

y $T = \text{Max} \{t_j / j \text{ es el recurso natural y } j = 1, 2, \dots, n\}$

donde,

- CR:** Costo de restauración biofísica del recurso natural afectado por acciones humanas ($\$/unidad del factor$)
- p_i :** Precio del insumo i usado en la restauración del recurso natural ($\$/unidad del insumo$)
- q_{ij} :** Cantidad del insumo i usada en la restauración del recurso natural j (unidades del insumo)
- r :** Tasa de descuento para actualizar los valores en el tiempo (%)
- t :** Tiempo (años)
- T :** Tiempo total requerido para la restauración del daño causado, determinado por el estado de conservación de los recursos naturales alterados.
- m :** Insumos requeridos en la restauración del recurso natural i
- n :** Recursos naturales afectados por acciones humanas

La Ecuación 2 debe ser ajustada espacialmente dadas las diferencias. En general, las condiciones naturales presentes en las distintas regiones determinan el tiempo de recuperación, así como la definición de actividades por ejecutar, aunque los daños ocasionados a un determinado factor sean similares en dos regiones distintas. Lo anterior obliga a que exista una evaluación específica cada vez que se presenta una alteración del ambiente.

5.1.1. Ejemplo para la aplicación de la fórmula del costo de recuperación

Supongamos que en un daño ambiental x , donde no hubo extracción directa de ningún producto, se afectaron los recursos bosque y agua. Se determina que la restauración del agua tarda 2 años y la del bosque 3 años. De este modo, el tiempo para la restauración del daño ambiental máximo es de 3 años ($T=3$), o sea, según indica la fórmula, el tiempo máximo de todos los intervalos de tiempo ($T = \text{Max} \{2, 3\} = 3$).

Para lograr la restauración se requiere de recursos que para este ejemplo se van a enmarcar en Mano de obra y Materiales, con el precio respectivo, según se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 10. Ejemplo de valores para cálculo del Costo de Restauración de la Ecuación 1

| Insumo ($m=2$) | | Costos | | Recursos Afectados ($n=2$) | | | | | |
|---------------------|---------------|----------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------|---------------|-------|-----|
| | | | | Cantidad de cada insumo (q) | | | | | |
| | | Unidad | Precio por unidad (p_i) | Año 1 | | Año 2 | | Año 3 | |
| | | | | $t=0$ | | $t=1$ | | $t=2$ | |
| Bosque $j=1$ | Agua $j=2$ | | | Bosque $j=1$ | Agua $j=2$ | Bosque $j=1$ | Agua $j=2$ | | |
| Mano de obra | $i=1$ | Horas | 300 | 1000 | 400 | 600 | 300 | 250 | 100 |
| Materiales | $i=2$ | Unitario | 1200 | 600 | 250 | 450 | 200 | 100 | 50 |

Aplicando la Ecuación 2 a los datos del Cuadro 10, con una tasa de descuento $r = 12\%$, el costo de restauración estimado para el daño ambiental total es de $\text{¢ } 2,604,700$, del cual $1,818,310$ es para la restauración del bosque y $786,390$ para la restauración del agua.

$$\begin{aligned}
 CR &= (P_1 Q_{011} + P_2 Q_{012} + P_1 Q_{021} + P_2 Q_{022})(1+0.12)^0 + \\
 &\quad (P_1 Q_{111} + P_2 Q_{112} + P_1 Q_{121} + P_2 Q_{122})(1+0.12)^{-1} + \\
 &\quad (P_1 Q_{211} + P_2 Q_{212} + P_1 Q_{221} + P_2 Q_{222})(1+0.12)^{-2} \\
 &= [(300 * 1000) + (1200 * 600) + (300 * 400) + (1200 * 250)] (1+0.12)^0 + \\
 &\quad [(300 * 600) + (1200 * 450) + (300 * 300) + (1200 * 200)] (1+0.12)^{-1} + \\
 &\quad [(300 * 250) + (1200 * 100) + (300 * 100) + (1200 * 50)] (1+0.12)^{-2} \\
 &= 2,604,700.25
 \end{aligned}$$

5.2. Evaluación económica del daño ambiental – aspecto social

La alteración que causan las actividades humanas al medio natural, no sólo afecta el medio físico sino también el medio social. Con relación al daño social, este se manifiesta en la pérdida de beneficios, debido a que el capital natural provee una serie de flujos que aprovecha la sociedad para el mejoramiento de su bienestar, tal y como se discutió con anterioridad (Ver Cuadro 3). Esto explica la necesidad de establecer una compensación equivalente a la pérdida de beneficios ocasionada con la afectación de recursos naturales.

Para el establecimiento del daño social ocasionado con la afectación del recurso natural, se requiere la identificación de los beneficios que dicho recurso le brinda a la sociedad, para permitir determinar la relación existente entre el nivel de afectación del recurso natural y la pérdida de beneficios sociales. Por ejemplo, al deforestar un bosque se afecta la calidad y cantidad de las aguas que dependían de ese ecosistema, se afecta el paisaje que brindaba a la población y se deteriora la biodiversidad contenida en él, entre otras afectaciones. Además de la pérdida de los beneficios que genera la afectación de recursos naturales, la población sufre otras afectaciones indirectas como la pérdida de salud, la pérdida de ingresos por ausencias al trabajo, entre otros problemas derivados. Estas afectaciones son parte de la evaluación económica que se discute más adelante.

Para estimar dicha compensación es necesario identificar, de manera precisa, los beneficios sociales que se ven afectados por la alteración del recurso natural. Dichos beneficios están determinados por la cantidad y calidad de los flujos que provee el medio natural. De este modo, la población tiene las siguientes alternativas cuando se ven afectados los flujos que deriva del capital natural:

- Seguir disponiendo de los flujos en una menor cantidad y calidad.
- Sustituir la oferta de flujos con otros bienes y servicios, mientras es posible la sustitución, en una cantidad equivalente a la disminución generada con la alteración de recursos naturales.
- Perder definitivamente la oportunidad de aprovechar esos flujos, ya sea temporal o permanentemente.

Cualquiera de las alternativas representa una pérdida de bienestar social que debe ser compensada apropiadamente. Lo de apropiado se refiere, principalmente, a que la población alcance un nivel de bienestar comparable al que disfrutaba previamente a la alteración del recurso natural, lo que significa alternativas de flujos que compensen o sustituyan los que se dañaron.

En general, el capital natural ofrece a la sociedad una serie de valores que pueden ser de uso *actual* (directo e indirecto) o de uso *potencial* (de opción o de existencia). Entonces, el valor total del capital natural disponible es la agregación de los valores de su uso actual y su uso potencial. Esta situación hace compleja la estimación del valor de un recurso natural en particular, dado que muchos valores de uso potencial no se conocen, y muchos de los valores de uso actual carecen de precio o de mercado. Ante este panorama de imposibilidad de establecer una sumatoria de todos los valores de uso de un recurso natural, es necesario acudir a una estimación indirecta del valor del mismo, utilizando criterios razonables que permitan una comparación entre la condición del recurso natural y la oferta de flujos a la sociedad.

Con anterioridad se mencionó que la calidad y la cantidad de flujos que se pueden derivar de un recurso natural, dependen de su estado de conservación. Esto induce a plantear la existencia de una relación directa entre el estado de conservación y los flujos del recurso natural. Esta relación se puede utilizar para establecer las consecuencias de una variación en el estado de conservación sobre los flujos del sistema natural que afectan el bienestar de la población. De esta manera, es esperable que la restauración del recurso natural conduzca al restablecimiento de los flujos que aprovecha la sociedad para mejorar su bienestar. En este sentido, conforme se mejora la condición del factor, se mejora la cantidad y la calidad de tales flujos.

Tomando en consideración lo anterior, se plantea que los costos de compensación deben estimarse mientras el recurso natural está en vías de restauración, o sea, desde que se inicia el daño hasta que el recurso natural sea recuperado satisfactoriamente; es decir, hasta el tiempo T , donde dichos costos deben desaparecer dado que los beneficios sociales que brindaba el recurso natural teóricamente se han recuperado. Si definimos una función de costos de compensación, $g(x)$, entonces los costos sociales de compensación, CS , están dados por:

$$CS = \int_0^T g(x)dx \quad (ec.3)$$

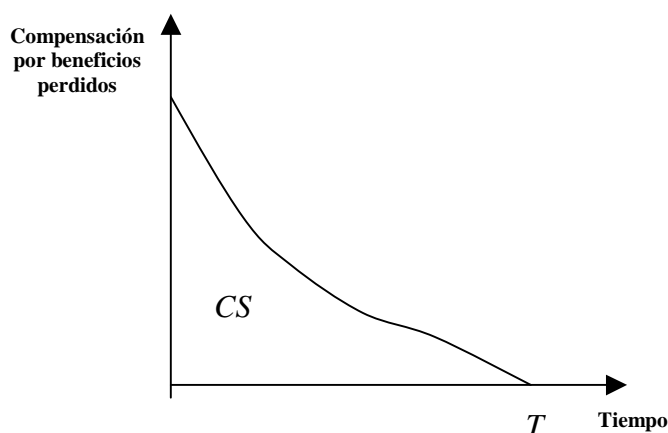


Gráfico 3. Aproximación del costo social del recurso natural afectado

Para efectos de una aproximación del costo social por el daño ambiental ocasionado, se proponen dependiendo de la disponibilidad y confiabilidad de la información. En el caso de que se puedan hacer estimaciones de los beneficios perdidos se propone la aplicación de métodos específicos por cada tipo de los beneficios afectados identificados en el Cuadro 3, lo que implica establecer la asociación del daño ambiental causado, los recursos alterados y los beneficios afectados. En el caso de que no sea factible una cuantificación de la información sobre el flujo de beneficios sociales, se establece un método basado en una relación entre los costos de restauración y el cambio en el estado de conservación de los recursos naturales afectados.

5.2.1. Método directo basado en los beneficios perdidos con la afectación de recursos naturales

En el Cuadro 3 se identificaron siete beneficios: flujo de materias primas, flujo de productos de consumo final, seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales, esparcimiento, desarrollo espiritual, protección física y protección a la salud. Para efectos de estimar el daño social debido a la alteración de recursos naturales por acciones humanas, se han hecho cuatro agrupaciones de beneficios perdidos y sus respectivos métodos propuestos para la estimación. Los grupos son:

- 1) Materias primas y productos de consumo final
- 2) Protección y seguridad en el abastecimiento de bienes y servicios finales
- 3) Protección a la salud
- 4) Esparcimiento y desarrollo espiritual

5.2.1.1. Pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final

Dado que es factible y posible la pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final cuando se afecta un recurso natural, será necesario estimar dicha pérdida considerando las cantidades perdidas y los precios de los distintos bienes y servicios afectados. Dicha estimación ha de realizarse para todo el período que tardaría el o los recursos afectados en recuperarse hasta el nivel de conservación antes de la alteración. Para lograrlo se requiere disponer de la información correspondiente de precios y cantidades o de las estimaciones pertinentes. Asumiendo que dicha información está disponible o que se pueden hacer las estimaciones, el cálculo del beneficio perdido por estos rubros estaría dado por:

$$BP_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (p_{ji}^{mp} q_{tji}^{mp} + p_{ji}^{cf} q_{tji}^{cf}) (1+r)^{-t} \quad (ec. 4)$$

donde,

BP_1 Beneficio perdido por la disminución de materias primas y productos de consumo final (¢)

p_{ji}^{mp} Precio de la materia prima i que se deriva del recurso natural j (¢/unidad)

p_{ji}^{cf} Precio del producto de consumo final i que se deriva del recurso natural j (¢/unidad)

q_{tji}^{mp} Cantidad de la materia prima i que se deriva del recurso natural j en el tiempo t (unidad)

q_{tji}^{cf} Cantidad del producto final i que se deriva del recurso natural j en el tiempo t (unidad)

☞ Ejemplo

Supongamos que en el ejemplo anterior se genera una disminución en la producción de productos no maderables del bosque (palmito y Lana) y en productos pesqueros (Guapote y Machaca) para el caso del recurso agua. En el Cuadro 11 se resumen los datos principales para la aplicación de la fórmula.

Cuadro 11. Ejemplo de valores para cálculo del Pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final

| Año (t) | Unidad de medida | Bosque | | Agua | | |
|-------------|------------------|----------|------|---------|---------|------|
| | | Palmito | Lana | Guapote | Machaca | |
| 0 | | | | | | |
| | Precio | Col./Kg. | 200 | 600 | 1500 | 1000 |
| | Cantidad | Kg./año | 3000 | 450 | 300 | 500 |
| | Disminución (%) | % | 35% | 35% | 40% | 40% |
| | Disminución | Kg./año | 1050 | 157.5 | 120 | 200 |
| 1 | | | | | | |
| | Precio | Col./Kg. | 200 | 600 | 1500 | 900 |
| | Cantidad | Kg./año | 3000 | 450 | 300 | 500 |
| | Disminución (%) | % | 25% | 25% | 15% | 15% |
| | Disminución | Kg./año | 750 | 112.5 | 45 | 75 |
| 2 | | | | | | |
| | Precio | Col./Kg. | 200 | 600 | 1500 | 900 |
| | Cantidad | Kg./año | 3000 | 450 | 300 | 500 |
| | Disminución (%) | % | 1% | 1% | 1% | 1% |
| | Disminución | Kg./año | 30 | 4.5 | 3 | 5 |

Aplicando la Ecuación 4 a los datos del Cuadro 11, con una tasa de descuento $r = 12\%$, el costo social debido a la pérdida de beneficio por una disminución en el flujo de materias primas y de productos de consumo final es de ¢ 1,020,437.

$$BP_1 = (P_{11} Q_{011} + P_{12} Q_{012} + P_{21} Q_{021} + P_{22} Q_{022})(1+0.12)^0 + (P_{11} Q_{111} + P_{12} Q_{112} + P_{21} Q_{121} + P_{22} Q_{122})(1+0.12)^{-1} + (P_{11} Q_{211} + P_{12} Q_{212} + P_{21} Q_{221} + P_{22} Q_{222})(1+0.12)^{-2}$$

$$\begin{aligned}
 &= [(200 * 1050) + (600 * 157.5) + (1500 * 120) + (1000 * 200)] (1+0.12)^0 + \\
 &\quad [(200 * 750) + (600 * 112.5) + (1500 * 45) + (1000 * 75)] (1+0.12)^{-1} + \\
 &\quad [(200 * 30) + (600 * 4.5) + (1500 * 3) + (1000 * 5)] (1+0.12)^{-2} \\
 &= 1,020,437
 \end{aligned}$$

Si no fuera posible una cuantificación directa de la disminución en el flujo de materias primas y productos de consumo final, se puede hacer una estimación proporcional al consumo actual considerando el cambio en el estado de conservación del recurso natural afectado. De este modo, la disminución anual para cada uno de los productos (materia prima como de consumo final) estaría dada por la siguiente ecuación:

$$q_{tji} = q_{0ji} \alpha_{tj} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad j = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (ec. 5)$$

y,

$$\alpha_j = EC_j^{ad} - EC_j^{dd}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (ec. 6)$$

donde,

q_{0ji} Cantidad actual del producto i que se deriva del recurso natural j (unidad)

q_{tji} Cantidad esperada del producto i que se deriva del recurso natural j (unidad)

α_{tj} Cambio en el estado de conservación del recurso j en el tiempo t (%)

EC_j^{ad} Estado de conservación inicial (*antes* del daño) del recurso natural (%)

EC_j^{dd} Estado de conservación final (*después* del daño) del recurso natural (%)

☞ Ejemplo

Asumiendo los datos del Cuadro 11 en relación con la producción anual, en ausencia de información contabilizada se puede acudir a una disminución de la producción equivalente al cambio en el estado de conservación de los recursos afectados. En el Cuadro 12 se dan los datos sobre la información de cambio en el estado de conservación conforme se restauran los recursos, asumiendo que la condición del recurso bosque antes de la intervención era de 80% y después de 50%, mientras que en agua la condición inicial era de 90% y la final de 65%, para cambios en el estado de conservación de 30% en bosque y 25% en agua. Es decir

$$\alpha_1 = EC_1^{ad} - EC_1^{dd} = 80\% - 50\% = 30\% \quad (\text{bosque})$$

$$\alpha_2 = EC_2^{ad} - EC_2^{dd} = 90\% - 65\% = 25\% \quad (\text{agua})$$

Cuadro 12. Disminución del grado de afectación del estado de conservación en el tiempo conforme aumenta la restauración del recurso

| Año | Grado de afectación (%) | |
|-----|-------------------------|------|
| | Bosque | Agua |
| 0 | 30 | 25 |
| 1 | 10 | 12 |
| 2 | 1 | 1 |

Ajustando el Cuadro 11 con la disminución de la producción equivalente al cambio en el estado de conservación se obtiene el Cuadro 13.

Cuadro 13. Ejemplo de valores para cálculo de la pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final considerando la disminución del grado de afectación

| Año (t) | Unidad de medida | Bosque | | Agua | | |
|---------|------------------|----------|------|---------|---------|------|
| | | Palmito | Lana | Guapote | Machaca | |
| 0 | Precio | Col./Kg. | 200 | 600 | 1500 | 1000 |
| | Cantidad | Kg./año | 3000 | 450 | 300 | 500 |
| | Disminución (%) | % | 30% | 30% | 25% | 25% |
| | Disminución | Kg./año | 900 | 135 | 75 | 125 |
| 1 | Precio | Col./Kg. | 200 | 600 | 1500 | 900 |
| | Cantidad | Kg./año | 3000 | 450 | 300 | 500 |
| | Disminución (%) | % | 10% | 10% | 12% | 12% |
| | Disminución | Kg./año | 300 | 45 | 36 | 60 |
| 2 | Precio | Col./Kg. | 200 | 600 | 1500 | 900 |
| | Cantidad | Kg./año | 3000 | 450 | 300 | 500 |
| | Disminución (%) | % | 1% | 1% | 1% | 1% |
| | Disminución | Kg./año | 30 | 4.5 | 3 | 5 |

Aplicando la Ecuación 4 a los datos del Cuadro 13, con una tasa de descuento $r = 12\%$, el costo social debido a la pérdida de beneficio por una disminución, proporcional al cambio en el estado de conservación de los recursos, en el flujo de materias primas y de productos de consumo final es de $\text{¢} 692,473$.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{BP}_1 &= (P_{11} Q_{011} + P_{12} Q_{012} + P_{21} Q_{021} + P_{22} Q_{022})(1+0.12)^0 + \\
 &\quad (P_{11} Q_{111} + P_{12} Q_{112} + P_{21} Q_{121} + P_{22} Q_{122})(1+0.12)^{-1} + \\
 &\quad (P_{11} Q_{111} + P_{12} Q_{112} + P_{21} Q_{121} + P_{22} Q_{122}) (1+0.12)^{-2} \\
 &= [(200 * 900) + (600 * 135) + (1500 * 75) + (1000 * 125)] (1+0.12)^0 + \\
 &\quad [(200 * 300) + (600 * 45) + (1500 * 36) + (1000 * 60)] (1+0.12)^{-1} + \\
 &\quad [(200 * 30) + (600 * 4.5) + (1500 * 3) + (1000 * 5)] (1+0.12)^{-2} \\
 &= 692,473.21
 \end{aligned}$$

5.2.1.2. Beneficio perdido por la afectación del nivel de protección y de seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales que brinda el recurso natural

Si el o los recursos naturales brindan a la población, protección a desastres naturales y seguridad en el abastecimiento de bienes y servicios en el futuro, una afectación a los mismos puede provocar un aumento de la vulnerabilidad de esta población a desastres naturales o provocados y a que desaparezca o disminuya el flujo de bienes y servicios que brinda el recurso. Esto significa una pérdida del beneficio proporcional al cambio ocurrido en la vulnerabilidad. Una estimación económica del daño ocasionado con esta afectación puede obtenerse contabilizando: 1) los costos necesarios en que se debe incurrir para minimizar el riesgo a desastres naturales y 2) los costos de medidas sustitutivas para garantizar el flujo de bienes y servicios que se dejarán de percibir por la alteración del recurso natural, al nivel que se encontraba antes de la afectación del recurso. Es decir, si es posible establecer el cambio en la vulnerabilidad y asociar las medidas correspondientes, entonces:

$$BP_2 = \sum_{i=1}^n (c_i^{pr} q_i^{pr} + c_i^{afp} q_i^{afp}) + \sum_{t=1}^T (G_t + M_t)(1+r)^{-t} \quad (ec. 7)$$

donde,

| | |
|-------------|---|
| BP_2 | Beneficio perdido por la afectación del nivel de protección que brinda el recurso natural |
| c_i^{pr} | Costo del insumo i que se utiliza en el establecimiento de medidas de protección ($\$/unidad$) |
| c_i^{afp} | Costo del insumo i para el establecimiento de medidas sustitutivas para el abastecimiento futuro de productos ($\$/unidad$) |
| q_i^{pr} | Cantidad del insumo i requerido para el establecimiento de medidas de protección (unidad) |
| q_i^{afp} | Cantidad del insumo i requerido para el establecimiento de medidas sustitutivas para el abastecimiento futuro de productos (unidad) |
| G_t | Gastos de gestión y administración en el año t ($\$/año$) |
| M_t | Gastos de mantenimiento en el año t ($\$/año$) |

Los insumos representan los requerimientos totales (mano de obra, materias primas, materiales, equipo e infraestructuras. Mientras que los gastos de gestión comprenden gastos administrativos y de operación que significa atender las infraestructuras generadas, y los gastos de mantenimiento están asociados a las necesidades que demanden los activos construidos para brindar los servicios para los cuales fueron diseñados. Los gastos de gestión y mantenimiento se extienden durante el período que tardará el recurso en recuperarse y vuelva a ofrecer los servicios al nivel que tenía antes de la alteración.

✎ Ejemplo

Supongamos que con el daño a los recursos del ejemplo hipotético se afecta la vulnerabilidad a desastres y la seguridad en el abastecimiento futuro de productos. También asumimos que se utiliza mano de obra y materiales para establecer medidas de protección y medidas sustitutivas en el abastecimiento futuro de productos, en las cantidades especificadas en el cuadro 14.

Cuadro 14. Ejemplo de valores para cálculo del beneficio perdido por la afectación del nivel de protección y de seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales que brinda el recurso natural

| Insumo | Medidas de protección a desastres | | Medidas sustitutivas para el abastecimiento futuro de productos | |
|---------------------|-----------------------------------|----------|---|----------|
| | Precio (¢/unidad) | Cantidad | Precio | Cantidad |
| Mano de obra (h) | 1200 | 15000 | 1200 | 8500 |
| Materiales (unidad) | 800 | 250000 | 1400 | 60000 |

Además, se requiere un nivel de gestión y de mantenimiento por todos los años en que dura la recuperación de los recursos al nivel de conservación antes de la alteración. Por lo tanto, asumimos que para el ejemplo anterior, dichos aspectos tienen los siguientes datos.

Cuadro 15. Ejemplo de valores para cálculo de los costos de gestión y mantenimiento por el periodo de recuperación de los recursos

| Año | Gestión | | Mantenimiento | |
|-----|--------------|------------|---------------|------------|
| | Mano de obra | Materiales | Mano de obra | Materiales |
| 0 | 1200000 | 350000 | 500000 | 275000 |
| 1 | 1200000 | 350000 | 500000 | 275000 |
| 2 | 1200000 | 350000 | 500000 | 275000 |

Aplicando la Ecuación 7 a los datos del Cuadro 14 y 15 se obtiene que el costo social por protección a desastres y seguridad en el abastecimiento futuro de productos, debido a la afectación de los recursos bosque y agua es de ¢61,904,368, de los cuales ¢38,000,000 son para la infraestructura para protección a desastres, ¢17,650,000 para las medidas sustitutivas para el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales y ¢6 254 368 para gestión y mantenimiento durante el período de recuperación.

$$BP_2 = (c_1^{pr} q_1^{pr} + c_1^{afp} q_1^{afp} + c_2^{pr} q_2^{pr} + c_2^{afp} q_2^{afp}) + (G_0 + M_0)(1+r)^{-0} + (G_1 + M_1)(1+r)^{-1} + (G_2 + M_2)(1+r)^{-2}$$

$$BP_2 = (1200*15000 + 1200*8500 + 800*250000 + 1400*60000) + (1550000 + 775000)(1+0.12)^0 + (1550000 + 775000)(1+0.12)^{-1} + (1550000 + 775000)(1+0.12)^{-2}$$

$$= 61,904,368$$

5.2.1.3. Beneficio perdido por el daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural

Al afectarse un recurso natural éste puede desencadenar una serie de problemas relacionados con la salud tales como enfermedades, plagas y deterioro a infraestructuras básicas destinadas a mantener mejores niveles de salud. Atender cada uno de estos aspectos representa incurrir en costos, los cuales se pueden asociar con el daño ambiental ocasionado. Para la estimación correspondiente se requiere del establecimiento de las relaciones causales, de tal manera que dichos problemas sean asociados a la alteración del recurso natural en el nivel que ha sido afectado. Es decir, que dichos problemas sean correspondidos con el cambio en el estado de conservación del recurso (α).

En el caso de enfermedades los costos están asociados al tratamiento curativo necesario en la atención de pacientes, tanto de los que han sido afectados como de los que pueden ser potencialmente afectados, lo que implica estimar el nivel de incidencia de la enfermedad hacia la población total. Si la alteración del recurso natural genera la aparición de plagas se requiere de actividades de atención directa de los vectores aparecidos, así como de las medidas preventivas hacia la población tales como vacunación, implementos especiales, etc. Si hay daños a infraestructuras básicas será necesario establecer medidas de mitigación para ofrecer los servicios que han sido dañados o de sustitución de las infraestructuras dañadas. Además de todos los costos anteriores hay que añadir los costos relacionados con la pérdida de ingresos por pérdida de productividad o ausencias al trabajo. Todo lo anterior se puede expresar mediante la ecuación:

$$BP_3 = \sum_{t=0}^{T_H} [c_t^{tre} H_t^e + c_t^{mpp} H_t^{mpp}] (1+r)^{-t} + \sum_{t=0}^{T_H} \sum_{i=1}^n (c_{ii}^{pl} q_{ii}^{pl} + c_i^m q_{ii}^m) (1+r)^{-t} + \sum_{k=1}^K c_k^{inf r} q_k^{inf r} \quad (ec. 8)$$

donde,

| | |
|------------------|---|
| BP_3 | Beneficio perdido por el daño a la salud debido a la afectación del recurso natural (ϕ) |
| c_t^{tre} | Costo del tratamiento de la enfermedad por el año t (ϕ /persona) |
| c_t^{mpp} | Costo de las medidas de prevención hacia la población en el año t (ϕ /persona) |
| c_{ii}^{pl} | Costo del insumo i para el control de plagas en el tiempo t (ϕ /unidad) |
| $c_{ii}^{inf r}$ | Costo del insumo i para la sustitución de infraestructura dañada (ϕ /unidad) |
| c_i^m | Costo del producto i para mitigar en el tiempo t los efectos causados con el daño a la infraestructura básica (ϕ /unidad) |
| H_t^e | Cantidad de personas que han sufrido enfermedades debido a la afectación del recurso natural en el tiempo t (unidad) |
| H_t^{mpp} | Cantidad de personas sometidas a medidas preventivas debido a la afectación del recurso natural en el tiempo t (personas) |
| q_{ii}^m | Cantidad del producto i para mitigar en el tiempo t los efectos causados con el daño a la infraestructura básica (unidad) |
| q_{ii}^{pl} | Cantidad del insumo i requerido para el control de plagas en el tiempo t (ϕ /unidad) |
| $q_k^{inf r}$ | Cantidad del insumo k requerido para el establecimiento de infraestructura (ϕ /unidad) |

⌘ Ejemplo

Supongamos que con las alteraciones a los recursos se ha generado enfermedades y plagas, y se han dañado drenajes que brindaban servicios para beneficio de la salud de las personas. Además, hay problemas de salud tanto dentro del área directa del proyecto como del área de influencia y se espera que persistan un tiempo. En el cuadro 16 se resumen los datos.

Cuadro 16. Ejemplo de valores para cálculo del beneficio perdido por el daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural

| Año | Costos | Enfermos | | Potencial a afectarse | |
|-----|-----------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | ¢/persona | Área directa | Área de influencia | Área directa | Área de influencia |
| 0 | 7500 | 150 | 15 | 4000 | 125 |
| 1 | 7500 | 45 | 8 | 1200 | 50 |

Además, por el problema de la aparición de plagas se ha realizado una campaña de prevención a la población, tanto en el área directa como en el área de influencia. En el Cuadro 17 se presentan los datos.

Cuadro 17. Ejemplo de valores para cálculo de los costos de prevención de enfermedades a la población

| Año | Costo | Población a ser atendida |
|-----|-------|--------------------------|
| 0 | 3500 | 5000 |
| 1 | 3500 | 1300 |

También se ha realizado una inversión en el control de las plagas aparecidas que se extenderán por un período de tiempo específico. También se han hecho inversiones de mitigación debido a la infraestructura dañada. Además de la instalación de la infraestructura básica que se dañó. En el Cuadro 18 se resumen los datos del ejemplo.

Cuadro 18. Ejemplo de valores para cálculo de los costos de control de plagas e inversiones en mitigación e infraestructura

| | Control de plagas | | Mitigación | | Infraestructura | |
|--------------|-------------------|----------|----------------|----------|-----------------|----------|
| | Costo unitario | Cantidad | Costo unitario | Cantidad | Costo unitario | Cantidad |
| t=0 | | | | | | |
| Mano de obra | 1200 | 250 | 1200 | 125 | 850 | 600 |
| Materiales | 700 | 500 | 450 | 400 | 550 | 3000 |
| t=1 | | | | | | |
| Mano de obra | 1200 | 100 | 1200 | 30 | 850 | |
| Materiales | 700 | 125 | 450 | 75 | 550 | |

Aplicando la Ecuación 8 a los datos anteriores y con una tasa de descuento de 12% se obtiene que el gasto por los problemas asociados a la salud es de ¢65,850,491, de los cuales ¢40,900,446 corresponderían a tratamientos de enfermedades, ¢21,562,500 a medidas para la prevención de enfermedades y ¢3,387,544 para el control de plagas, mitigación y reposición de infraestructura básica.

$$BP_3 = [c_0^{tre} H_0^e + c_0^{mpp} H_0^{mpp}](1+r)^{-0} + [c_1^{tre} H_1^e + c_1^{mpp} H_1^{mpp}](1+r)^{-1} \\ + (c_{01}^{pl} q_{01}^{pl} + c_{01}^m q_{01}^m + c_{02}^{pl} q_{02}^{pl} + c_{02}^m q_{02}^m)(1+r)^{-0} + (c_{11}^{pl} q_{11}^{pl} + c_{11}^m q_{11}^m + c_{12}^{pl} q_{12}^{pl} + c_{12}^m q_{12}^m)(1+r)^{-1} \\ + c_1^{inf r} q_1^{inf r} + c_2^{inf r} q_2^{inf r}$$

$$BP_3 = (7500*4290+3500*5000)(1+0.12)^0 + (7500*1303+3500*1300)(1+0.12)^{-1} \\ + (1200*250+1200*125+700*500+450*400)(1+0.12)^0 \\ + (1200*100+1200*30+700*125+450*75)(1+0.12)^{-1}$$

$$= \frac{+(850*600+550*3000)}{61,904,368}$$

5.2.1.4. Beneficio perdido por la afectación del esparcimiento y el desarrollo espiritual debido al daño del recurso natural

Cuando un recurso natural es alterado debido a las acciones humanas, es esperable una modificación del paisaje que provoca las facilidades para el esparcimiento y el desarrollo espiritual de las personas. Las personas pueden aceptar convivir con dicha modificación perdiendo el bienestar que recibían por el disfrute del esparcimiento y el desarrollo espiritual que le brindaba el recurso antes de la alteración. También, pueden sustituir esos servicios desplazándose al sitio similar más cercano donde obtengan bienestar por el disfrute de esparcimiento y desarrollo espiritual. Esta segunda opción representa costos adicionales en que debe incurrir el afectado, tales como transporte, alimentación, tiempo de desplazamiento, hospedaje, otros. La estimación del costo debe contemplar tanto la población dentro del área de influencia directa como los del área de influencia indirecta. Para efecto de cálculo se establece la ecuación:

$$BP_4 = \sum_{t=1}^T c_t^d H_t^d (1+r)^{-t} \quad (ec. 9)$$

donde,

- BP_4 Beneficio perdido por la afectación del esparcimiento y el desarrollo espiritual al alterar un recurso natural (¢)
- c_t^d Costo de desplazamiento al sitio similar más cercano para disfrutar de esparcimiento y desarrollo espiritual en el tiempo t (¢/persona)
- H_t^d Población que siente afectado su esparcimiento y desarrollo espiritual por la alteración de un recurso natural en el tiempo t (personas)

∞ Ejemplo

Supongamos que en el ejemplo de discusión la población manifiesta que ha visto afectada la posibilidad de esparcimiento y desarrollo espiritual, con la alteración de los recursos naturales. Esta afectación durará hasta que se restaure el recurso afectado pero será decreciente el total de personal afectado. En el cuadro siguiente se expresan los datos esperados conforme se restaura el recurso.

Cuadro 19. Ejemplo de valores para cálculo de la afectación del esparcimiento y el desarrollo espiritual debido al daño del recurso natural

| Año | Costo unitario | Población |
|-----|----------------|-----------|
| 0 | 5000 | 2500 |
| 1 | 5000 | 1800 |
| 2 | 5000 | 500 |

Aplicando la Ecuación 9 a los datos anteriores y utilizando una tasa de descuento de 12% se obtiene que el costo asociado a la pérdida de beneficios por la afectación del esparcimiento y el desarrollo espiritual es de 22,528,698

$$BP_4 = c_0^d H_0^d (1+r)^0 + c_1^d H_1^d (1+r)^{-1} + c_2^d H_2^d (1+r)^{-2}$$

$$\begin{aligned} BP_4 &= (5000*2500)(1+0.12)^0 + (5000*1800)(1+0.12)^{-1} + (5000*500)(1+0.12)^{-2} \\ &= 22,528,698 \end{aligned}$$

5.2.2. Método indirecto basado en el cambio del estado de conservación

Si la información cuantitativa sobre los beneficios perdidos no estuviera disponible, es necesario acudir a medios indirectos, que en esta oportunidad se propone el uso del cambio en el estado de conservación y el costo total de restauración de los recursos. Este método es particularmente útil en sitios donde no hay población cercana o la cuantificación de los beneficios es marginal en relación con los usos actuales.

La compensación esperada está determinada por la disminución de beneficios que podría resultar de la afectación de un recurso natural, tal y como se establece en el Cuadro 3. Para efectos de una cuantificación económica equivalente a la compensación social por el daño causado con la afectación del recurso natural, se propone establecer un monto proporcional al costo de restauración del factor, bajo la siguiente estructura analítica:

$$CS = \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{p_i q_{tji} (1+r)^{-t}}{1-\alpha_{ij}} \quad (ec.10)$$

donde,

CS Compensación social por el daño causado con la afectación del recurso natural (¢)

El factor $\frac{1}{1-\alpha}$ explica que, si α se acerca a uno, el daño ocasionado a la oferta de flujos que benefician a la sociedad es casi total, por lo que el costo de compensación deberá reflejar esa pérdida casi total de bienestar que brindaban esos flujos a la población. Si α se acerca a 0, indica que la afectación ha sido mínima y, por lo tanto, la disminución de los flujos también, por lo que la compensación social asociada tenderá a cero dado que los costos de restauración son mínimos.

∞ Ejemplo para la aplicación de la fórmula del costo social

Para la aplicación de la fórmula del costo social, con los datos del ejemplo hipotético anterior se asume un grado de afectación de dos recursos naturales: 30% en el bosque y 25% en el agua. Además, mientras se establecen las medidas de restauración de los recursos bosque y agua, se restablecen los flujos de beneficios perdidos, de modo que el grado de afectación empieza a disminuir. En el Cuadro 20 se presentan los valores asumidos de disminución del grado de afectación en el tiempo.

Cuadro 20. Ejemplo de valores para cálculo del grado de afectación del estado de conservación en el tiempo para la estimación del costo social

| Años | Grado de afectación (%) | |
|------|-------------------------|------|
| | Bosque | Agua |
| 0 | 30 | 25 |
| 1 | 10 | 12 |
| 2 | 1 | 1 |

Aplicando la Ecuación 10 a los datos de los Cuadros 19 y 20, con una tasa de descuento $r = 12\%$, el costo social estimado para el daño ambiental total es de $\$ 3,295,745$ del cual $\$ 2,328,452$ es para el costo social por el daño ocasionado al bosque y $\$ 967,294$ para el costo social por el daño ocasionado al agua.

$$\begin{aligned}
 CS &= \{(P_1 Q_{011} + P_2 Q_{012}) (1+0.12)^0 / (1 - \alpha_{01})\} + \{(P_1 Q_{021} + P_2 Q_{022}) (1+0.12)^0 / (1 - \alpha_{02})\} + \\
 &\quad \{(P_1 Q_{111} + P_2 Q_{112}) (1+0.12)^{-1} / (1 - \alpha_{11})\} + \{(P_1 Q_{121} + P_2 Q_{122}) (1+0.12)^{-1} / (1 - \alpha_{12})\} + \\
 &\quad \{(P_1 Q_{111} + P_2 Q_{112}) (1+0.12)^{-2} / (1 - \alpha_{21})\} + \{(P_1 Q_{121} + P_2 Q_{122}) (1+0.12)^{-2} / (1 - \alpha_{22})\} \\
 &= [(300*1000) + (1200*600)] (1+0.12)^0 / (1 - 0.30) + [(300*400) + (1200*250)] (1+0.12)^0 / (1 - 0.25) + \\
 &\quad [(300*600) + (1250*450)] (1+0.12)^{-1} / (1 - 0.10) + [(300 * 300) + (1250 * 200)] (1+0.12)^{-1} / (1 - 0.12) + \\
 &\quad [(300*250) + (1250*100)] (1+0.12)^{-2} / (1 - 0.01) + [(300*100) + (1250*50)] (1+0.12)^{-2} / (1 - 0.01) \\
 &= 3,295,745
 \end{aligned}$$

5.3. Evaluación económica del daño ambiental - costos totales

En la estimación del costo total es necesario incorporar el valor asociado al producto en el caso de extracciones. Esta estimación pueda darse utilizando la siguiente ecuación.

$$CE = \sum_{s=1}^R c_s e_s \quad (ec. 11)$$

donde,

| | |
|------|--|
| CE | Valor de la producción total extraída ($\$$) |
| c | valor unitario del recurso s ($\$$ /unidad) |
| e | cantidad extraída del recurso s (unidades) |

En el caso de que no exista un precio directo para el recurso extraído, se puede acudir a estimaciones indirectas basadas en bienes sustitutos o en el costo de extracción.

☞ Ejemplo

Si se extraen árboles en el proceso de afectación en una cantidad equivalente a 100 m^3 con un precio de $\$450/\text{m}^3$ y venados en una cantidad de 8 animales, donde el precio es de $\$40000$, entonces el costo total es de $\$365,000$, de los cuales $\$45000$ es el costo en madera y $\$320000$ en el caso de venados. Es decir,

$$CE = 450 * 100 + 40000*8 = 365,000$$

El costo total (CT) del daño ambiental es la suma del costo biofísico dado por el costo de restauración, el costo social y el valor de la producción total extraída.

Para el caso del método directo, sería la suma de los valores parciales obtenidos; es decir,

$$CT = CR + BP_1 + BP_2 + BP_3 + BP_4 + CE$$

Con los datos del ejemplo hipotético se tendría un total de $\$154,273,694$

$$\begin{aligned}
 CT &= 2,604,700 + 1,020,437 + 65,850,491 + 61,904,368 + 22,528,698 + 365,000 \\
 CT &= 154,273,694
 \end{aligned}$$

Para el caso del método indirecto, el costo total estaría dado por:

$$CT = CR + CS + CE \quad (\text{ec. 12})$$

Con los datos obtenidos en los ejemplos anteriores, donde no ocurrió extracción directa de productos, se determina que el costo total es de ¢5,900,445.

$$CT = 2,604,700 + 3,295,745$$

$$CT = 5,900,445$$

6. CONCLUSIONES

Del estudio sobre la metodología para la valoración económica del daño ambiental se desprenden las siguientes conclusiones:

- El daño ambiental es la alteración desfavorable del medio natural, de modo que hay un cambio negativo en el estado de conservación de sus elementos. El daño ambiental es causado por distintas acciones humanas que han sido clasificadas para este estudio en nueve categorías y su respectiva relación de causalidad con la clasificación de recursos naturales propuesta en este estudio.
- El cambio en el estado de conservación del medio natural es el objeto de análisis en el desarrollo de la metodología, dado que es la responsabilidad que se puede atribuir a los causantes del daño. Es decir, que el deterioro presente en el recurso antes de la alteración no debe ser considerado en el análisis del daño ambiental de interés.
- Para cuantificar el daño ambiental causado es necesario tener una descripción y una contabilidad del capital natural, así como de los beneficios o flujos que brinda dicho capital a la población. Esta información permitirá establecer la importancia social y ecológica del medio natural y la necesidad de resguardarlo y de minimizar las consecuencias adversas que generan las actividades humanas.
- La información sobre el estado de conservación del capital natural es la base para establecer la magnitud del daño ambiental ocasionado. Así también, al asociarse el flujo de beneficios que dicho capital provee a la población con el estado de salud del medio natural, el estado de conservación también ofrece información sobre la incidencia del daño social ocasionado, manifiesto en la pérdida de beneficios.
- El costo económico total asociado al daño ambiental incluye 1) el costo de restauración del medio natural afectado hasta su estado de conservación inicial; 2) el costo social atribuible a la disminución en los beneficios que provee el medio natural; y, 3) el costo de los productos extraídos sin los permisos correspondientes.
- El costo de restauración depende de los requerimientos de insumos, capital y trabajo, así como del tiempo estimado para la restauración hasta aproximar los niveles en que se encontraba el recurso antes de ser afectado. Dado que una acción puede afectar a uno o más recursos, el tiempo de restauración debe corresponder al recurso de mayor tiempo de recuperación.
- El costo social depende de la pérdida de beneficios que se genera con una afectación en el estado de conservación del medio natural, dado que es posible establecer una relación directa entre el estado de conservación y la calidad y cantidad de los flujos que brinda el capital natural. En caso de que los beneficios sean cuantificables y se puedan determinar, se ha desarrollado un método directo de

estimación. Si por el contrario, los beneficios no son cuantificables se propone un método donde el costo social es proporcional al costo de restauración donde la constante de proporcionalidad está en función del cambio en el estado de conservación.

- Para la implementación de la metodología desarrollada se requiere de información sistemática, continua, actualizada y consistente, así como de un recurso humano capacitado específicamente para tal fin. Estos requerimientos representan el principal reto que enfrentaría el sistema desde el punto de vista técnico en la evaluación económica de daños ambientales.
- La implementación de la metodología desarrollada puede servir de base para la homogenización de criterios en la evaluación económica de daños ambientales, tanto desde el punto de vista técnico como en las consideraciones de tipo legal e institucional que se requiere en el tratamiento del problema.

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con las principales conclusiones del estudio es posible establecer una serie de recomendaciones necesarias para la implementación y seguimiento de la metodología propuesta para la evaluación económica del daño ambiental.

- Aunque esta metodología desarrollada es una primera aproximación a la evaluación del daño ambiental, se sugiere su aplicación como una primera base que permita los ajustes y el mejoramiento de la información y conocimiento en el tratamiento de daños ambientales. De ser necesario, algunas decisiones de políticas fortalecerán la implementación de la metodología, estableciendo los lineamientos pertinentes sobre la clasificación de recursos naturales, el flujo de beneficios que brinda el capital natural, el estado de conservación y las acciones que causan daños al ambiente.
- Se sugiere que el costo económico total incluya los costos de restauración del medio natural afectado, el costo social y el costo de la extracción en caso de que esta última exista. Para su estimación se recomienda implementar el método propuesto en este estudio, considerando la flexibilidad para discriminar el método en el caso de la estimación del costo social.
- Dado que la metodología requiere precisar el cambio en la condición del recurso debido a la alteración ocasionada, es necesario contar con la información sobre el estado de conservación antes y después de la alteración. Por ello, se debe identificar el estado actual de conservación de los recursos naturales y disponer de esa información para que sirva de comparación con la condición final del recurso.
- Debido a que la información actual sobre la condición de los recursos naturales en función de daños ambientales es limitada, se sugiere, en una primera etapa, recurrir a la consulta de expertos que puedan emitir su criterio profesional sobre el estado de conservación antes y después de la alteración ocasionada. Además, en este proceso es posible determinar el tiempo mínimo requerido para la restauración de los recursos. En el mediano plazo es posible ir sustituyendo en la medida de las necesidades, la consulta de expertos, por información científica.
- Para efectos de la restauración de los recursos naturales afectados se recomienda disponer de información técnica sobre las actividades de restauración que se deben realizar para cada recurso

afectado y de las necesidades de insumo, capital y trabajo. Estas actividades deben ser identificadas para todo el período de restauración que demandará el recurso natural afectado.

- Para efectos de mejorar la metodología y su implementación se recomienda desarrollar una base de datos actualizada, consistente, sistemática, continua y confiable sobre información biofísica del capital natural y socioeconómica sobre los beneficios que este brinda a la sociedad. También, ayudará a mantener estadísticas sobre requerimientos de insumo, capital, trabajo, precios relacionados con la restauración de los recursos afectados.
- Para fortalecer la efectividad en la aplicación de dicha metodología se recomienda un proceso de capacitación e involucramiento del recurso humano que será responsable del proceso. Esto ayudará a consolidar y profesionalizar la evaluación económica de daños ambientales favoreciendo, de esta manera, el resguardo del capital natural en condiciones socialmente aceptables para garantizar el desarrollo actual y futuro del país.
- Para aportar en este mejoramiento y fortalecimiento de la capacidad de respuesta institucional y humana, se sugiere que la metodología aportada con este estudio sea desarrollada en un programa computacional que le permita a los profesionales actuales implementarla con la capacidad actual. Es decir, que con el recurso humano que se dispone se puedan abordar las evaluaciones económicas del daño ambiental.
- Implementar un Sistema de Vigilancia Ambiental (SIVA) que de cuenta sobre el estado de conservación del medio natural periódicamente, de modo que permita analizar la evolución del capital natural. Esto ayudará en la evaluación oportuna de los daños ambientales que se presenten dado que brindará la información de la condición inicial del recurso (antes del daño) que será comparada con la condición final del recurso que se evaluará particularmente cuando se presente el daño.
- Para una mayor efectividad en la implementación y una mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles (financieros, humanos, institucionales, etc.), se recomienda que se dé una adecuada y cercana coordinación institucional entre las diferentes organizaciones (gubernamentales y no gubernamentales). Esto implica establecer mecanismos de intercambio de información pertinente y relevante para los propósitos de la evaluación económica de daños ambientales en Costa Rica. Además, ayudará a incorporar estos procesos dentro de los quehaceres institucionales de las de las distintas instituciones.
- Finalmente, por ser el ambiente dinámico debe mantenerse un proceso continuo de investigación y capacitación sobre este tema, de modo que se genere un mejoramiento constante de los procesos de evaluación de daños ambientales en el país. Además, ayudará a crear capacidad nacional en la temática en términos de conocimiento, información y recurso humano idóneo para cumplir con la responsabilidad de resguardar el medio natural ante un desarrollo económico y social que debe ser equilibrado con las necesidades de los ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. 1996. *Ley Forestal No 7575*. (La Gaceta No 72, Alcance No 21 del 16 de abril de 1996).
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. 1995. *Ley Orgánica del Ambiente*. La Gaceta N° 215, 13 de noviembre de 1995.
- Asamblea Legislativa. 1992. *Ley de Conservación de la Vida Silvestre #7317*. La Gaceta No. 235.
- Atmella, A. y J. L. Camacho. 1993. *Manual para la prevención y denuncia de los delitos ecológicos*. Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales. Editorial Heliconia, Costa Rica. 101p.
- Bermúdez, R. A., A. Díaz y J. Escribano. 2000. *Dióxido de carbono como un proceso fundamental de los servicios ambientales en Costa Rica*. Trabajo de graduación para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo de Recursos Naturales. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 102p.
- Bravo, J y N. J. Windevoxhel. 1997. *Manual para la identificación y clasificación de humedales en Costa Rica*. 1ª. ed. UICN/ORMA: MINAE: Embajada Real de los Países Bajos. San José, Costa Rica. 37p.
- Brown, J. H. 1995. *Macroecology*. The University of Chicago Press. USA.
- Canter, L. 1998. *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*. McGraw Hill, Madrid.
- Cowardin, L. et al. 1979. *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service, Department of the Interior. 131p.
- DeAngelis, D. L. y P. S. White. 1994. *Ecosystems as products of spatially and temporally varying driving forces, ecological processes, and landscapes: a theoretical perspective*. Páginas 9-27. En Davis, Steven M. Y John C. Ogden, ed. Everglades, the ecosystem and its restoration. St. Lucie Press, Florida, EUA. 826p.
- Gómez-Orea, D. 1994. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Editorial Agrícola Española S. A., 2ª ed. Madrid. 260p.
- Jiménez, J. A. y E. González, eds. 2001. *La cuenca del río Tempisque, perspectivas para un manejo integrado*. Organización para Estudios Tropicales. Costa Rica. 137p.
- Leopold, L. B., et al. 1971. "A procedure for evaluating environmental impact", Circular 645, US Geological survey, Washington, D.C.
- Mata, M. 1999. *Macrohongos de Costa Rica – Mushrooms*. Vol. 1. Editorial INBio, Costa Rica. 265p.
- Mata, A., y F. Quevedo. 1990. *Diccionario didáctico de Ecología*. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José. 387p.
- MINAE. 2000. *Estrategia nacional de conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Ministerio del Ambiente y la energía del gobierno de Costa Rica. Imprenta Lil, Costa Rica. 82p.
- Odum, E. 1972. *Ecología*. Tercera edición. Nueva Editorial Interamericana, México. 639p.
- Odum, E. 1993. *Ecology and our Endangered Life-support Systems*. Sinauer Associates, Massachusetts. 301p. UNA
- Orozco, J. y K. Ruíz. 2001. *Uso de instrumentos económicos para la gestión ambiental en Costa Rica*. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible. Serie de Documentos de Trabajo 002-2001. Costa Rica. 67p.
- Patton, D. R. 1992. *Wildlife habitat relationships in forested ecosystems*. Timber Press, Oregon. 392p.
- Peinador, M. 1999. *Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica*. Rev. Biol. Trop., 47: 381-391.
- Primack, R. B. 1993. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates, EUA. 563p.
- Purvis, H. 2000. *Getting the measure of biodiversity*. Nature 405.
- Real Academia Española (RAE). 1992. *Diccionario de la Lengua Española*. Espasa Calpe, S. A.
- Strahler, A. N. 1977. *Geografía Física*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 768p.

ANEXOS

Anexo 1. Glosario

(la literatura utilizada se incluyó en la bibliografía)

Acuífero: formación de roca porosa que permite la infiltración, acumulación y movimiento de importantes masas de agua en condiciones normales y que permiten su suministro por gravedad o bombeo. También se le denomina *manto acuífero*. (Mata y Quevedo 1990).

Aguas freáticas: las que tienen por base un estrato impermeable y por techo uno permeable (zona de aireación), los cuales se ven afectados directamente por los cambios en la superficie

Aguas artesianas: ver *Aguas confinadas*

Aguas confinadas (artesianas): aguas que están "protegidas" con una base o substrato impermeable y con un techo de estrato impermeable.

Árbol: Planta maderable de un solo tallo de un ancho mayor a 10.2 cm (4 pulgadas) medidas a una altura desde el suelo de 1.37 m (4.5 pies) (Patton 1992)

Biodiversidad

1. Suma total de toda la variación biótica desde el nivel de genes hasta ecosistemas (Purvis 2000).
2. Tradicionalmente la biodiversidad comprende tres niveles: ecosistemas, especies y organismos (Brown 1995).
3. La variedad de formas de vida: las diferentes plantas, hongos, animales y microorganismos, los genes que ellos contienen, y los ecosistemas de los que forman partes. Se consideran tres niveles: la diversidad genética, la diversidad de especies y la diversidad de ecosistemas (MINAE 2000).

Bosque

1. Definición técnica:

- a. *Bosque:* como una comunidad de vegetación que presenta una cobertura de árboles más o menos densa y extensa, o como un área cuya forma de vida dominante son árboles. (*Árbol:* Planta maderable de un solo tallo de un ancho mayor a 10.2 cm (4 pulgadas) medidas a una altura desde el suelo de 1.37 m (4.5 pies). (Patton 1992).
- b. *Bosques tropicales lluviosos:* se caracterizan por dos factores: el grado de humedad y la estructura. Se encuentran principalmente entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, con precipitaciones que exceden los 200 a 225 centímetros por año, pero distribuida durante todo el año; aunque en algunas zonas puede existir una estación seca marcada. La variación de temperatura entre las estaciones seca y lluviosa es menor que la que se da entre el día y la noche. Las periodicidades estacionales en el desarrollo de las diferentes especies presentes están íntimamente relacionadas con el régimen de precipitación. Estos biomas se caracterizan por estar altamente estratificados, con un número muy alto de especies, formando por lo general tres estratos: (a) árboles emergentes muy grandes y dispersos que sobresalen del nivel general del estrato, (b) el estrato medio que forma un tapiz continuo y (c) una capa inferior, que sólo se hace densa allí donde se da en la bóveda una rotura en la continuidad. (Odum 1972)

2. Definición legal:

- a. *Bosque*: es un ecosistema nativo o autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de 2 o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento 70% de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles de 15 o más cm de DAP. (Ley Forestal N°7575, La Gaceta No. 72).
- b. *Ecosistema boscoso*: Composición de plantas y animales diversos, mayores y menores, que interaccionan: nacen, crecen, se reproducen y mueren, dependen unos de otros a lo largo de su vida. Después de miles de años, esta composición ha alcanzado un equilibrio que, de no ser interrumpido, se mantendrá indefinidamente y sufrirá transformaciones muy lentamente. (Ley No 7575 del 16 de abril de 1996, La Gaceta No. 72).

Capital natural: conjunto de recursos naturales de una región.

Clima: conjunto de las condiciones meteorológicas que se presentan en un área más o menos extensa del planeta y durante un período relativamente largo. El clima de una zona es resultado de aspectos físicos atmosféricos (humedad, viento, radiación, temperatura, estado eléctrico) que duran un período prolongado. Se distinguen diferentes tipos (Mata y Quevedo 1990):

Macroclimas: climas zonales que son determinados por la circulación general de la atmósfera y la estacionalidad (por ejemplo, el clima tropical y el nórdico). Ejercen influencia en amplias superficies del globo terráqueo.

Regionales: climas que son determinados por accidentes geográficos como las cordilleras y montañas, corrientes oceánicas y de aire.

Mesoclimas: climas locales también denominados *topoclimas*, que resultan de fenómenos geográficos y naturales como litorales, montañas, bosques y valles. Dentro de un clima zonal pueden existir climas regionales y en ellos, climas locales.

Microclimas: climas más localizados de menor influencia que los mesoclimas y son originados por diferencias locales en topografía, temperatura, régimen hídrico, cobertura, etc.

Teleclimas: se refiere al clima de espacios muy reducidos.

Drene: drenaje natural

Drenaje: aquel artificial construido por el ser humano

Caza: Acción, con cualquier fin de acosar, apresar o matar fauna silvestres, así como la recolección de productos o subproductos derivados de estos.

CITES: Acrónimo de “Convención internacional sobre el tráfico de especies”.

Cohesión: grado de entrelazamiento de los granos que forman el suelo

Composición de especies: se refiere al tipo de especies presentes en una comunidad biológica. Se da como un listado de las especies presentes

Cuenca: hay hidrológicas e hidrogeológicas:

Cuenca hidrogeológicas: conjunto de algunos horizontes o complejos acuíferos que se caracterizan por un desarrollo geológico común. Característica: Recarga

Cuenca hidrológicas: Desde el punto de vista físico se define como el área delimitada por la divisoria topográfica de las aguas que drenan hacia un mismo punto. En este sentido una cuenca hidrográfica

representa una superficie de tierra donde todos los materiales como aguas, sedimentos, materia orgánica, residuos de procesos drenan hacia un mismo sitio específico del río (Strahler 1977).

Daño ambiental: Acción o actividad que produce una alteración desfavorable en el medio o en algunos de los componentes del medio. / Impactos negativos producidos por actividades humanas que tienen un efecto perjudicial sobre los recursos naturales (o sobre los procesos que producen y mantiene dichos recursos).

Diversidad: Se refiere al número de taxones (generalmente es a nivel de especie) presentes en una comunidad biológica y a la abundancia relativa de ellas en dicha comunidad. La medida de la diversidad está formada por dos variables: abundancia y equidad. *Abundancia:* número de individuos presentes por unidad de área o volumen. *Equidad:* el grado de homogeneidad en que están repartidos los individuos en el taxon (abundancia relativa).

Dosel: Cobertura superior, frondosa y rugosa de un bosque (Mata y Quevedo 1990). Estrato horizontal del bosque donde se encuentran las copas de los árboles.

Ecosistema: Cualquier unidad que incluya la totalidad de los organismos ("comunidad") de un área determinada, que actúan en reciprocidad con el medio físico de modo que una corriente de energía conduce a (1) una estructura trófica, o sea, una red alimenticia, (2) una diversidad biótica y (3) ciclos de materiales, como los ciclos del oxígeno, el agua, el azufre o el nitrógeno (Odum 1972).

Endemismo: un taxon que se encuentra únicamente en un área geográfica y en ningún otro sitio es endémico a dicha área. El taxon es endémico al área donde ocurre naturalmente, la cual puede ser un área pequeña o muy extensa (Primack 1993). El término se utiliza como descriptor sobre todo en aquellos casos en que el taxon tiene una distribución muy restringida. El nivel taxonómico utilizado más frecuentemente es el de especie.

Energía: Capacidad de los cuerpos materiales para realizar un trabajo. Faculta de poner a la materia en movimiento. Existen muchas formas de energía, las cuales pueden transformarse entre sí.

Especie clave: especies que ejercen algún tipo de influencia controladora en el ecosistema, independientemente de si son dominantes o no (Odum 1993).

Especie dominante: se refiere a las pocas especies que son las más comunes dentro de una comunidad (Odum 1993).

Especie esciófita: especie que tolera la sombra pero no la requiere. Llegan a la sucesión después de las heliófitas, una vez que ya se ha producido mas dosel. Si se abre un claro estas especies no pueden prosperar. Cuando se le abre un espacio. Ejemplo: Manú (*Miquardia guianensis*) especie esciófita por excelencia.

Especie heliófita: especies que son favorecidas por áreas abiertas. Hay durables (como balsa, laurel o caobilla) y efímeras (el kativo).

Especie indicadora: especies con tolerancias conocidas a contaminantes o a situaciones específicas, que por tanto pueden utilizarse para la evaluación de la condición ambiental. Unas denotan con su presencia que el ambiente se encuentra en condiciones saludables (indicadoras positivas), y otras indican una condición deficiente en el ambiente en que se encuentran (indicadoras negativas).

Eutroficadas: también conocida como eutroficación cultural, se refiere a la contaminación orgánica resultante de las actividades del ser humano. La eutroficación sucede cuando hay una gran productividad primaria de la comunidad. Esto puede suceder como una respuesta a intervenciones humanas que a través de insumos como contaminación ponen a disposición de algunas especies ciertos nutrientes que causan un crecimiento desmedido y fuera del comportamiento normal de dicha comunidad (adaptado de Odum 1972).

Feral: animal que fue doméstico pero que se readaptó a su estado silvestre.

Germoplasma: Material genético.

Guano: material fertilizante de alto contenido fosfórico originado de los excrementos de las aves marinas.

Hidrocarburos: Compuestos orgánicos formados básicamente de átomos de carbono e hidrógeno. Los principales yacimientos para la sociedad industrial moderna son el petróleo (tipo aromático o alifático; el último a su vez se divide en olefinas y parafinas), el gas natural y la hulla (Mata y Quevedo 1990).

Humedales:

1. Definiciones legales:

- a. Ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja (Art. 40 de la Ley Orgánica del Ambiente 1995).
- b. Extensiones de marismas, pantanos, turberas, aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuyas profundidades en marea baja no exceda de seis metros (Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317).
- c. Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Artículo 1.1 de la Convención de Ramsar).

2. Definición ecológica Según Bravo y Windevoxhel (1997):

- a. ecosistemas complejos que poseen características físicas, químicas y biológicas asociadas con un régimen hídrico ya sea de forma temporal o permanente. Debido a estas características presentan un alto grado de productividad y son considerados como ecosistemas de gran importancia para la conservación de numerosas especies vegetales y animales y de hábitat muy frágiles. Desempeñan funciones muy variadas y de importancia social, como: protección contra inundaciones y tormentas; mantenimiento de la calidad de agua; medio de transporte acuático: recreación y turismo: favorecen la cara y recarga de acuíferos; estabilización de la línea de costa; retención de sedimentos y nutrientes y el brindar oportunidades para investigación y educación, entre muchos otros.
- b. Para que un ecosistema sea considerado un humedal debe presentar tres características ecológicas esenciales: (1) una vegetación hidrófila, (2) suelos hídricos y (3) una condición hídrica (Ver explicación de cada una en Glosario). Las tres características son obligatorias y deben estar presentes en una determinada área para ser identificada como un humedal, aunque no es necesario que sea simultáneamente .

3. Tipos de *paisajes* de los humedales. En zonas tropicales como Costa Rica, los principales son: *Costas* (faja de tierra que reposa inmediatamente después del mar en tierra firme hasta donde se extiende la acción directa del mar: dentro de sus características más determinantes están la energía de la costa y la geomorfología del lecho marino); *Arrecifes de coral* (formados principalmente por depósitos masivos de carbonato de calcio producidos por los organismos de coral -Phylum Cnidaria, clase Anthozoa-. Las colonias formadas presentan una gran diversidad de fauna y flora marina asociada que le brindan una gran diversidad biológica y espacial; *estuarios* (cuerpo de agua en el litoral marino que presenta se caracteriza por la mezcla de aguas dulces y saladas, debido a que está bajo la influencia de aguas marinas y de aguas dulces continentales procedentes de ríos y quebradas; presenta grandes gradientes de salinidad, temperatura y conductividad, lo que le permite disponibilidad de materia orgánica e inorgánica que le permite el desarrollo de una alta productividad); *esteros* (canal de marea que comunica una laguna litoral o las tierras bajas pantanosas, lodosas y arenosas de las llanuras costeras bajas o sistemas deltaicos

directamente con el mar o un estuario; se caracterizan por un suelo limo-arcilloso y por poseer vegetación hidrófila); *delta* (área constituida por la desembocadura de uno o más ríos en forma indirecta, a través de una serie de canales o brazos); *llanuras litorales*; *llanuras de inundación*; *pantanos* (sitios de agua de inundación permanente o casi permanente con o sin influencia mareal; se caracterizan por la continua permanencia de la saturación del suelo y la casi permanencia del período de inundación); *lagos* (cuerpos encerrados de agua de por lo menos 10 metros de profundidad y 10 hectáreas de extensión) y *lagunas* (cuerpos encerrados de aguas de profundidades menores a un lago); *turberas* (áreas húmedas de alta productividad cuyas características tanto topográficas como hidrológicas tienden a acumular materia orgánica y a presentar una exportación pobre de materia a los ecosistemas de su entorno; son áreas anegadas y esponjosas con grandes acumulaciones de materia orgánica en forma de turba, cubierta por una capa de vegetación pobre asociada a un alto grado de acidez del suelo); *bosques inundados* (bosques inundados por largos períodos de tiempo en los que el flujo de la corriente es comúnmente lento y con numerosos drenajes irregulares; por lo general son de alta productividad primaria y dominados por unas pocas especies forestales; pueden ser dulceacuícolas o manglares); y *humedales artificiales*.

4. La clasificación de humedales de Bravo y Windevoxhel (1997), basada en la de Cowardin et al. (1979) y reconoce 5 tipos de humedales (“sistemas”), cuyas características son ampliadas en Jiménez y González (2001):
 - a. *Riberinos*: “todos los ambientes acuáticos contenidos en los drenajes que periódica, permanente o temporalmente mantienen agua en movimiento. Se excluyen aquellos ambientes con dominancia de árboles, arbustos o vegetación emergente persistente.” Típicamente en estos humedales se encuentran dos tipos de vegetación: (1) flotante, constituida principalmente por colonias de *Pistia stratiotes* y *Nymphae* spp. Que se forman en las orillas de los ríos y (2) de márgenes de ríos, que está compuesta de bosques de galería, vegetación arbustiva y emergente en las riberas desprovistas de cobertura forestal.
 - b. *Palustrinos*: “todos los humedales de tipo no mareal, con las siguientes características: (a) pueden contener cobertura vegetal o no, la vegetación puede estar representada por típicamente no exceden dos metros de profundidad y los valores de salinidad se mantienen debajo de 0.5 partes por mil”.
 - c. *Lacustrinos*: “hábitats acuáticos que cuentan con una depresión topográfica o están represados naturalmente, por lo que forman lagos o lagunas. La salinidad del agua puede ser mareal y la vegetación está conformada por plantas emergentes, flotantes, musgos y líquenes”.
 - d. *Estuarinos*: “hábitats de aguas profundas y tierras adyacentes con influencia de mareas, a menudo semi-encerradas por tierra, parcialmente obstruida o esporádicamente accesible al océano; donde el agua oceánica es diluida por agua dulce que corre desde tierra adentro. La salinidad puede presentar gradientes debido a factores de evaporación, distancia a la línea de costa o mayor o menor caudal de agua dulce entre otros. La presencia de fauna y vegetación típica de estas áreas puede estar representada por moluscos y bosques de mangle”.
 - e. *Marinos*: “Áreas litorales expuestas a los flujos de aguas oceánicas. Se entiende como, las áreas de inundación de las mareas más altas hasta el área comprendida como el límite posterior de fanerógamas marinos o arrecifes de coral o en su ausencia entre cero y seis metros de profundidad.”

Jaragua: gramínea exótica (*Hyparrhenia rufa*) de origen africano.

Léntico: De aguas estacionarias o estancadas o con muy poco intercambio: lagos y lagunas (Mata y Quevedo, 1990).

Lótico: De aguas en movimiento.

Manglar:

1. Ecosistema dominado por un grupo de especies vegetales pantropicales y típicamente arbóreas, arbustivas y vegetación asociada, las cuales cuentan con adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas que les permiten colonizar áreas anegadas y sujetas al intercambio de mareas. El paisaje general está dominado por la presencia de esteros y canales. Las especies de manglar típicas son: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erecta* y *Pelliciera rizophorae* (Bravo y Windevoxhel 1997).
2. Ecosistema formado por una comunidad boscosa, de tierras anegadas o humedales, con plantas y árboles cuyo hábitat espacial es la ciénaga pantanosa de agua limosa y banco arenoso, localizada en forma particular en las bocas de los ríos; es inundada regularmente por el efecto de las mareas, pero se encuentra protegido de las olas o corrientes fuertes. Se localiza en regiones inferiores subtropicales, pero alcanza su plenitud de riqueza foliar en los trópicos. Su tamaño varía desde pequeños arbustos hasta árboles de cerca de 50 metros de altura. Se le considera uno de los ecosistemas más productivos de la biosfera (Mata y Quevedo 1990).

MINAE: Acrónimo de “Ministerio del Ambiente y la Energía” (Gobierno de Costa Rica).

Nivel freático: contacto directo de aguas subterráneas con la superficie

Nivel piezométrico: cuando el agua subterránea no tiene contacto directo con la superficie

Paisaje:

1. percepción polisensorial y subjetiva del medio ambiente (Carter 1998).
2. expresión perceptible u observable del espacio geográfico, por medios directos o indirectos que captan las características externas temporales y dinámicas de los ecosistemas naturales o culturales (Bravo y Windevoxhel 1997).

Recarga del acuífero: ver *Recursos del acuífero*.

Recursos (recarga) del acuífero: en hidrogeología, se refiere a las aguas que alimentan el acuífero. Las fuentes pueden ser naturales o artificiales. (1) Naturales: Aguas lluvias, ríos, lagos, esteros, mares. (2) Artificiales: embalses, canales.

Reserva del acuífero: en hidrogeología, se refiere al agua que está contenida en el acuífero (almacenamiento). La fuente de esta agua puede ser natural o artificial. (1) Naturales: Aguas lluvias, ríos, lagos, esteros, mares. (2) Artificiales: embalses, canales

Restauración: 1.Reparar, renovar o volver a poner una cosa en aquel estado o estimación que antes tenía (RAE 1992).

Se habla de restauración ecológica cuando se trata de llevar un sitio alterado, a las condiciones originales de composición y estructura de las poblaciones de plantas y animales que allí existieron.

La idea de la restauración es simular las condiciones naturales que existieron en el sitio, reensamblando, reparando y combinando los elementos de tal forma que funcionen apropiadamente (Jordan et al. 1987).

Servicios ambientales:

1. Los que brinda el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medioambiente. Son los siguientes: mitigación de gases de efecto de invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de la biodiversidad para conservarla y uso sostenible, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, formas de vida y belleza escénica natural para fines turísticos y científicos (Ley No 7575 del 16 de abril de 1996, La Gaceta No. 72).

2. Servicios y beneficios que recibimos todos, y que se obtienen directa o indirectamente de diferentes funciones ecológicas de la naturaleza, principalmente del bosque, cuyos efectos en la calidad de vida son tanto tangibles como intangibles, entre ellos la madera, empleo, captación de carbono, material genético, medicamentos, biodiversidad, protección del suelo y agua, paisaje, y otras funciones denominadas servicios ambientales (Bermúdez et al. 2000).

Sinucia: diferentes estratos de un ecosistema, que se caracterizan por variados conjuntos de animales y plantas o por un *microclima* diferente.

SIVA: Acrónimo de “Sistema de Vigilancia Ambiental”, el cual consiste en un sistema que permita desarrollar y mantener una base de datos sobre la condición de los ecosistemas, con la cual se puede obtener estadísticas en el tiempo, para facilitar el análisis de la evolución de los recursos.

Tilapia: pez exótico de la familia Cichlidae que fue introducido en Costa Rica como una alternativa para la producción piscícola en estanques, que escapó a los ríos y se ha adaptado y reproducido en estas condiciones naturales. Es una especie muy exitosa, con gran potencial reproductivo y gran capacidad de adaptación tanto a diferentes tipos de alimento y hábitat, como a diferentes condiciones físico-químicas (salinidad, humedad, temperatura, etc.). Por esta alta capacidad de adaptación ha ido desplazando a las especies nativas y se ha convertido en una amenaza para la ictiofauna autóctona.

Transgénico: individuo proveniente de biotecnología que incluye el mejoramiento (transformación o manipulación) genética.

UICN: Acrónimo de “Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza”.

Unicelular: organismo formado por una sola célula.

Zona fótica: profundidad del agua donde hay penetración de luz, y por tanto hay una mayor producción de algas y plantas acuáticas (Bravo y Windevoxhel 1997).