3 GEOGRAFÍA PARA EL SIGLO XXI SERIE: LIBROS DE INVESTIGACIÓN

Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México

Jorge López Blanco
María de Lourdes Rodríguez Gamiño
Coordinadores

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA UNAM

Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México

Jorge López Blanco
María de Lourdes Rodríguez Gamiño
Coordinadores

IG
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
UNAM

México, 2008

Desarrollo de indicadores ambientales
y de sustentabilidad en México
Primera edición, mayo de 2009

© D.R. Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán,
04510, México, D. F.
www.igeograf.unam.mx

Prohibida la reproducción parcial o total
por cualquier medio, sin autorización escrita
del titular de los derechos patrimoniales.

La presente publicación presenta los resultados
de una investigación científica y contó con dictámenes de
expertos externos, de acuerdo con las normas editoriales
del Instituto de Geografía.
Para su publicación recibió apoyo financiero de PAPIIT,
clave de proyecto IN102503.

Geografía para el siglo XXI (Obra general)
Serie Libros de Investigación
ISBN 970-32-2976-X
ISBN 978-607-02-0675-7

Impreso y hecho en México

Sumario

Agradecimientos

Presentación 11

El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) 15
César Rodríguez-Ortega y Arturo Flores-Martínez

Experiencia del INEGI en la elaboración de indicadores ambientales
y de desarrollo sustentable 27
Carlos Roberto López Pérez

Indicadores de desempeño para el ordenamiento ecológico
territorial (OET) a nivel local: experiencia en la construcción
de indicadores para dos municipios del país 57
Gerardo Jesús Negrete Fernández y Diego Reygadas Prado

Responsabilidad ambiental compartida: una perspectiva
de análisis multiregional para México 83
Rafael Borrayo López

Calidad o salud del suelo: conceptos, indicadores y aplicación
en agricultura 107
*Jorge D. Etchevers Barra, Claudia Hidalgo M., Silvia Pajares M.,
Juan F. Gallardo L., Miguel Á. Vergara S. María A. Bautista
y Juliana Padilla C.*

Planeación agroambiental para el desarrollo regional sustentable:
lineamientos para Sierra Nevada, Estado de México. 123
*Pablo A. Torres Lima, Luis M. Rodríguez Sánchez
y Juan G. Cruz Castillo*

El marco MESMIS, estudios de caso en Iberoamérica y Norteamérica 145
Quetzalcóatl Orozco Ramírez, Erika N. Speelman, Marta Astier y Yankuic Galván Miyoshi

Determinación de indicadores ambientales a escala detallada para la evaluación biofísica y la planeación del territorio: el caso de Milpa Alta, Distrito Federal 165
María de Lourdes Rodríguez Gamiño y Jorge López Blanco

Agradecimientos

El coloquio y el libro resultante se realizaron gracias al apoyo que otorgó el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnolólogica (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al proyecto "Determinación y aplicación de indicadores ambientales a escala detallada para la evaluación biofísica y la planeación del territorio: el caso de Milpa Alta Distrito Federal", con la clave IN102503.

Presentación

Los indicadores ambientales permiten dar seguimiento al impacto humano sobre el ambiente biofísico y socioeconómico, es por ello que se han reconocido como una necesidad fundamental para el desarrollo a nivel nacional, regional y local. Asimismo, son importantes para evaluar las consecuencias de la instrumentación de las políticas y la efectividad de los programas que se han aplicado, buscando la meta de la sustentabilidad en el uso de los recursos.

Considerando esto, se llevó a cabo en noviembre del 2006, el Primer Coloquio sobre Conceptos y Aplicación de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad en México, en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde participaron académicos de diversas instituciones del sector público, educativo y centros de investigación. Derivado de ello, se ha conformado este libro con la finalidad de dar a conocer, con textos formales, con amplitud y profundidad considerables, y con una calidad científica trascendental, información de los principales conceptos y aplicaciones de los indicadores ambientales y de sustentabilidad, en los diferentes ámbitos territoriales, con el fin de contar con metodologías y herramientas que permitan dar seguimiento y evaluar la condición de los recursos naturales en México, dirigida tanto a la comunidad científica, a los representantes de los organismos de gobierno y al público en general.

Las temáticas presentadas en este libro abarcan las investigaciones y desarrollos más relevantes que sobre indicadores ambientales y de sustentabilidad se han realizado en los últimos años en México.

En el primer capítulo, César Rodríguez Ortega y Arturo Flores Martínez de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), explican los marcos de referencia, conceptuales y metodológicos, en los que se han desarrollado los instrumentos del Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) y de los Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental, generados en la SEMARNAT.

En el segundo capítulo, Carlos Roberto López Pérez, del INEGI, presenta las experiencias institucionales en los indicadores de desarrollo sustentable. Asimismo, los marcos de acción sobre generación, integración y difusión de información

ambiental, los cuales están basados en una aplicación de normatividad en estadísticas e indicadores establecida por la institución, la cual se fundamenta en la identificación y adecuación de estadísticas e indicadores a estándares metodológicos internacionales, el desglose temático, categorías, variables y clasificaciones.

En el tercer capítulo, Gerardo Jesús Negrete Fernández y Diego Reygadas Prado del Instituto Nacional de Ecología, muestran la metodología aplicada para determinar los indicadores de desempeño del Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), en la evaluación y seguimiento de los programas de ordenamiento local y local comunitario, con dos casos de estudio de municipios de México. Su marco conceptual está sustentado en la Teoría de Sistemas, en el contexto del OET. De los 1 500 indicadores revisados en la literatura por estos autores, han considerado 53, de los cuales 35 han sido validados para su análisis.

En el cuarto capítulo, Rafael Borrayo López, del Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, hace referencia a la política ambiental de México que presenta insuficiencias en su estructuración y una baja efectividad de los instrumentos para incidir sobre los procesos de degradación de los ecosistemas. Él menciona que los desarrollos teóricos actuales sobre la medición de la sustentabilidad deben contar con tres elementos básicos: *a)* los criterios viables para la evaluación de la sustentabilidad; *b)* la espacialidad o escala de las políticas ambientales, para reconocer los procesos económico-ambientales y de los recursos naturales, y *c)* la dimensión temporal, en tanto que la permanencia y ajuste oportuno de las intervenciones humanas son cruciales para volver observables los efectos sobre los sistemas ambientales.

En el quinto capítulo, Jorge D. Etchevers Barra y colaboradores, del Colegio de Posgraduados, presentan una disertación sobre la importancia de evaluar y considerar la calidad o salud del suelo, su derivación en forma de indicadores y su aplicación en la agricultura. En este trabajo hacen énfasis en la importancia que tienen los suelos en los ecosistemas y en los agroecosistemas, los cuales son fundamentales para el bienestar humano, y la productividad de ambos depende de la calidad del suelo. Asimismo, señalan la importancia de los indicadores físicos, químicos y biológicos, como la capacidad de retención del agua, crecimiento de raíces, infiltración y movimiento del agua.

El sexto capítulo corresponde al trabajo presentado por Pablo A. Torres Lima y colaboradores, de la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Xochimilco, donde se destaca la importancia de contar con conceptos y usos de los indicadores de sustentabilidad a nivel regional. Para lo cual se deben elaborar marcos conceptuales y metodológicos que expliquen tanto los valores de los indicadores, como las jerarquías de su aplicación dentro de cada sistema regional; compatibili-

zar y comparar indicadores dentro en un tiempo y espacio, una apropiación y uso social de los indicadores; asimismo, fortalecer a las instituciones con capacidad para comunicar experiencias de marcos de indicadores, formalizar redes regionales de indicadores del desarrollo sustentable y contribuir en la formulación de políticas y programas específicos de sustentabilidad ambiental regional.

En el capítulo séptimo, Quetzalcóatl Orozco Ramírez y colaboradores, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), explican el marco para la evaluación de los sistemas de manejo de recursos naturales, utilizando los indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Proponen tres estrategias para evaluar la sustentabilidad: *a)* indicadores (ambientales, económicos, sociales e institucionales); *b)* índices de sustentabilidad (agregación de un conjunto de indicadores en un solo valor numérico), y *c)* marcos metodológicos (que guían la evaluación a partir de etapas metodológicas). Estos autores establecen que dentro de los marcos de evaluación debe existir un vínculo entre el desarrollo teórico del concepto y su aplicación práctica, presentar una estructura jerárquica que va de lo general (atributos o propiedades) a lo particular (indicadores) y que deben tener aplicaciones a través de estudios y comparaciones de los sistemas de manejo alternativos, en la selección y monitoreo de indicadores específicos y en ayudar en los procesos de planeación y toma de decisiones.

Finalmente, en el capítulo ocho, María de Lourdes Rodríguez Gamiño y Jorge López Blanco presentan un caso de estudio para la determinación y aplicación de indicadores ambientales a escala espacial 1:20 000, en el sur de la Cuenca de México. Lo anterior considerando a los indicadores ambientales y de sustentabilidad que se basan en información obtenida a escala local. Esto ha proveído de un método práctico para monitorear los avances de la sociedad local hacia el desarrollo sustentable.

Con lo anterior, este libro demuestra la importancia de dar a conocer las investigaciones que se están realizando dentro de la temática de los indicadores ambientales y de sustentabilidad, dentro de los centros de investigación y en las instituciones públicas de México, además servirá para construir un lenguaje común en el diálogo entre especialistas de diversas disciplinas en el tema. El desarrollo de dichos indicadores permitirá dar seguimiento al impacto humano en el entorno natural, social y económico, también se le ha dado a este libro la mayor importancia a la presencia de los puntos de vista del sector académico y público. Los indicadores ambientales y de sustentabilidad constituyen una herramienta de información de seguimiento de los procesos que se dan tanto en el medio natural, como en lo social y lo económico.

La información fidedigna y detallada es indispensable para la toma de decisiones dentro de un proceso de planeación ambiental, sobre el capital natural a nivel local, regional y nacional, no sólo en cuanto al uso de los recursos, sino, sobre todo, para revertir los procesos de degradación ambiental biofísica que se han generado principalmente en las últimas décadas en México.

Los Coordinadores

El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA)

César Rodríguez-Ortega
Arturo Flores-Martínez
Dirección General de Estadística e Información Ambiental,
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Introducción

La sociedad moderna tiene, más que en cualquier otra época de la historia, un vasto y dinámico acervo de información a su alcance. La diversidad de temas sobre los que puede interesarse es asombrosa, como también lo son, gracias a los avances de la tecnología, su facilidad de acceso.

En una época marcada por un creciente interés y preocupación mundial sobre el deterioro ambiental y el agotamiento de los recursos naturales, la necesidad de información sobre el medio ambiente es evidente. Para las sociedades civiles y sus gobiernos, esta información es fundamental para conocer el estado y las tendencias de los distintos componentes del ambiente –como la biodiversidad, el agua o el aire–, para, con ello, formular políticas y programas orientados hacia la conservación y el uso sostenible de la naturaleza.

En este contexto, los indicadores ambientales constituyen una herramienta básica de información ambiental. Son útiles para comunicar información científica y técnica a los tomadores de decisiones y al público en general para que les permita tener una participación más activa y sustentada sobre la problemática ambiental. Asimismo, son una herramienta importante para identificar las fuerzas motrices que contribuyen tanto al mejoramiento o la degradación de las condiciones ambientales, como a la evaluación de los alcances de las metas establecidas en los programas encaminados a la protección y al uso sostenible del ambiente (Reid *et al.*, 1993:3).

Este capítulo presenta con detalle la estructura y el funcionamiento del SNIA, con particular énfasis en sus componentes, así como en su interrelación con el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN),

administrado también por la SEMARNAT. Se revisa también, de manera breve, la naturaleza e importancia de los indicadores ambientales y los antecedentes que en esta materia se han emprendido en México hasta la fecha.

Indicadores ambientales

Los indicadores ambientales deben, como su nombre lo sugiere, *indicar* o dar a entender algo con indicios o señales sobre algún aspecto del ambiente. No existe una definición única de los indicadores ambientales, sino una amplia lista que responde a los objetivos para los cuales han sido creadas o, simplemente, a las instituciones que las presentan. Las hay tan sencillas como aquéllas que los consideran como simples medidas de las presiones que afectan a los componentes del ambiente, o tan complejas –como la que propone la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para su Reporte del Estado del Ambiente–, que incluye explícitamente las dimensiones espacial y temporal, además de los componentes ecológicos y de salud humana.

Una de las definiciones más aceptada es la que propone la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que se refiere a un indicador como un parámetro[1] o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro mismo (OECD, 2003).

La naturaleza de los indicadores les confiere dos grandes virtudes: primero, la capacidad de simplificar sustancialmente la visión de un fenómeno o situación, y segundo, la posibilidad de comunicar, de una manera sencilla, información científica y técnica al público interesado (IFEN, 1997; OECD, 2003).

En este sentido, la elección adecuada de un parámetro relevante al fenómeno como indicador será fundamental. Si ha sido bien elegido, hará posible conocer, sin una gran inversión de tiempo, investigación y síntesis, el comportamiento y evolución temporal del fenómeno o situación bajo estudio. El caso contrario conducirá muy probablemente a concepciones erróneas del fenómeno que, en el peor de los casos, resultará en inversiones, de esfuerzo humano y económico, mal orientados.

[1] Aunque en algunas fuentes *parámetro e índice* se utilizan indistintamente como sinónimos de indicador, no tienen el mismo significado. El primero se refiere a una propiedad medible u observable, mientras que el índice es un agregado de parámetros o indicadores.

La comunicación efectiva de esta información –tanto a la sociedad civil como a los tomadores de decisiones– permite la transformación de un conjunto de datos en acciones específicas. Puede traducirse, por un lado, en el movimiento de la sociedad hacia la concientización de una problemática ambiental específica y a su pro-actividad a favor de dicho problema, y por otro, hacia acciones de gobierno encaminadas al diseño e implementación de estrategias dirigidas hacia su solución. En este último punto, los indicadores son también útiles para la evaluación del alcance de los objetivos y metas planteados en dichas estrategias.

Debe mencionarse que para que los indicadores cumplan su función, es conveniente que reúnan ciertas características. Para la OCDE (1993), son tres los criterios importantes: *a)* que sean relevantes para los tomadores de decisiones y el público en general, *b)* su solidez analítica y *c)* su facilidad de medición. Para que cumplan con estos requisitos, se aconseja que tengan diversas propiedades, mismas que aparecen enlistadas en la Tabla 1.

Los indicadores se han convertido, a partir del reconocimiento de su importancia en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, Brasil, en 1992, en herramientas indispensables para la planeación y la evaluación de las políticas ambientales alrededor del mundo, tanto para los gobiernos de muchos países como para una gran parte de las organizaciones internacionales.

Conjuntos de indicadores

La utilidad de los indicadores ambientales muchas veces sólo se consigue a través de integrarlos o presentarlos en conjunto con otros indicadores. Es difícil, por citar tan solo un ejemplo, obtener una idea completa del problema de la biodiversidad nacional con tan solo considerar como indicador el listado de las especies de flora y fauna en alguna categoría de riesgo. Hará falta, tal vez, conocer la superficie remanente de vegetación natural o de aquélla que ocupa las áreas naturales protegidas para tener una visión más completa de este tema. Incluso, serían necesarios indicadores demográficos –relacionados al crecimiento de las poblaciones rural y urbana–, o de la calidad de agua –en los cuerpos continentales, por ejemplo–, entre otros, para entender cómo y hacia dónde se mueve este complejo sistema.

Una de las soluciones al problema de los "indicadores sueltos" ha sido la agregación de los parámetros que se considera que afectan al sistema en expresiones-fórmulas que pretenden resumirlos, es decir, en índices ambientales. Algunos de los más conocidos son el del Planeta Viviente –*Living Planet Index*, que actualiza

Tabla 1. Criterios para seleccionar indicadores ambientales según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

Relevancia para los tomadores de decisiones y público en general	Los indicadores deben:
	Proporcionar una visión de las condiciones ambientales, presiones ambientales y respuestas de la sociedad o gobierno.
	Ser sencillos, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias a través del tiempo.
	Responder a cambios en el ambiente y en las actividades humanas relacionadas.
	Proporcionar una base para las comparaciones internacionales.
	Ser aplicables a escala nacional o regional, según sea el caso.
	Tener preferentemente un valor con el cual puedan ser comparados.
Solidez analítica	Los indicadores deben:
	Estar teórica y científicamente bien fundamentadados.
	Estar basados en consensos internacionales.
	Ser capaces de relacionarse con modelos económicos y/o de desarrollo, así como con sistemas de información.
Medición	Los datos necesarios para construir los indicadores se caracterizan por:
	Estar disponibles con una razonable relación costo/beneficio.
	Estar bien documentados y gozar de validad reconocida.
	Ser actualizados a intervalos regulares con procedimientos confiables.

Fuente: OECD (2003)

el Fondo Mundial para la Naturaleza y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente–, la Huella Ecológica –*Ecological Footprint*– y el Índice de Sustentabilidad Ambiental –*Environmental Sustainability Index*, calculado por las universidades de Yale y Columbia. Aun cuando pueden aportar información interesante, los índices han sido ampliamente criticados, principalmente por los criterios de selección de sus variables, sus métodos de cálculo y la falta de validez en su comparación (SEMARNAT, 2005).

Alternativamente, en muchos casos se ha preferido su integración en conjuntos de indicadores, la cual responde básicamente a dos propósitos distintos: *a)* proveer de información clave para dar una imagen clara y completa acerca del estado actual del sistema o fenómeno, y *b)* proporcionar información suficiente para tomar decisiones que permitan dirigirlo hacia los objetivos seleccionados y determinar el nivel de éxito de las acciones. En otras palabras, están determinados tanto por el sistema mismo como por los intereses, necesidades y objetivos que se persiguen.

La experiencia gubernamental mexicana en indicadores ambientales: 1993-2006

Los primeros pasos formales del gobierno federal hacia el desarrollo de indicadores ambientales los desarrolló el Instituto Nacional de Ecología (INE) en 1993, a través de su participación en el Taller Norteamericano de Información Ambiental, al lado de las agencias ambientales canadiense –*Environment Canada*– y norteamericana –*Environmental Protection Agency*, EPA. El objetivo del taller fue generar una base de información para el informe del estado del ambiente en la región de América del Norte. Como resultado surgió el estudio *An Approach Towards Environmental Indicators for Mexico 1994*, que estableció las bases conceptuales para el desarrollo de indicadores ambientales en nuestro país.

El siguiente paso lo constituyó la publicación *Avance en el Desarrollo de Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental de México 1997*, que utilizó como marco metodológico el esquema de Presión-Estado-Respuesta (PER), con modificaciones que incorporaron las experiencias en este tipo de iniciativas de algunos países y organismos internacionales con avances en la materia. Su propósito fue establecer un conjunto de indicadores que sirvieran como herramienta para evaluar el desempeño de las políticas ambientales.

La *Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000* fue la continuación de los esfuerzos por integrar un sistema de indicadores ambientales. En esta publicación se incluyeron actualizaciones de los indicadores contenidos en la publicación de 1997 y se incorporaron nuevos temas –agua, bosques, suelos y pesca. En este trabajo se mantuvo el modelo PER y se procuró establecer la relación del ambiente con algunos sectores productivos, todo bajo un enfoque de sostenibilidad ambiental.

También en 2000 se publicaron los *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*, elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Infor-

mática (INEGI) y la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Los indicadores formaron parte del compromiso asumido por México al adherirse al Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable suscrito en la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992. Como producto de ese esfuerzo, México documentó 113 de los 134 indicadores posibles que propuso la Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS).

Uno de los avances más recientes y significativos fue la publicación, en 2006, de los *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México: 2005*, el cual puso al alcance de los usuarios uno de los conjuntos de indicadores que integran el SNIA. Esta obra presentó, por medio de cerca de 140 indicadores y otras 450 variables complementarias, una visión profunda acerca del estado del medio ambiente y los recursos del país.

Dos antecedentes regionales importantes en el uso de indicadores fueron los *Indicadores Ambientales para la Región Fronteriza Norte*, elaborado conjuntamente por el INE y la EPA de los Estados Unidos, que incluyó indicadores relacionados con la salud humana y las condiciones del ambiente de la frontera México-Estados Unidos, e incluso indicadores de gestión o desempeño. Este trabajo sirvió de antecedente a la publicación *Situación Ambiental en la Región Fronteriza. Reporte de Indicadores 2005*, elaborado conjuntamente por la SEMARNAT y la EPA, cuyo objetivo ha sido desarrollar, en esta nueva versión, un conjunto de indicadores que incremente el conocimiento del estado del ambiente y de la salud humana en la región fronteriza que comparten ambos países.

En el 2006 se publicaron los progresos alcanzados por México con respecto a la Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (ILAC). La ILAC se constituyó como una respuesta política y ética a la necesidad de otorgar sentido práctico a los procesos hacia la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Uno de los objetivos del ILAC ha sido desarrollar y aplicar un proceso de evaluación para dar seguimiento a los avances en el cumplimiento de los objetivos del desarrollo, especialmente a los resultados del Plan de Acción de Johannesburgo, a través de la adopción de indicadores nacionales y regionales de sostenibilidad acordes con las características sociales, económicas y políticas de la región.

El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA)

El SNIA forma parte del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), el cual está cargo de la Dirección General de Estadística

e Información Ambiental (DGEIA) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

El SNIARN es un sistema dedicado a recopilar, organizar y difundir la información ambiental y los recursos naturales del país. Se integra por bases de datos estadísticos, geográficos y documentales que se nutren de la información que generan distintos órganos de los gobiernos federal, estatal y municipal, así como de universidades e institutos de investigación (Figura 1).

Con la información que almacena en su base de datos, el SNIARN permite la generación, a través de distintos procesos de integración y análisis, de productos de difusión, entre los que destacan el *Informe de la situación del Medio Ambiente en México* y el *Compendio de Estadísticas Ambientales*, que se publican periódicamente y que ofrecen una descripción sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales del país, así como de las acciones emprendidas a favor de la conservación de la naturaleza y su uso sostenible. La mayor parte de los productos generados son puestos al alcance del público interesado –sociedad civil y tomadores de decisiones– por medio de distintos medios, principalmente impresos y electrónicos.[2]

El objetivo central del SNIA es la integración y difusión de la iniciativa nacional de indicadores ambientales –en la forma de sus diferentes conjuntos– con la intención de brindar información ambiental confiable y oportuna a los tomadores de decisiones y al público en general sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales del país.

Los distintos conjuntos de indicadores que integran el SNIA se han ordenado bajo un marco conceptual que permite una estructura ordenada y de fácil acceso e interpretación. Este marco corresponde, en general, al modelo de Presión-Estado-Respuesta –PER–, propuesto por *Environment Canada* y la OCDE (2003:21). Dicho modelo considera básicamente que las actividades humanas ejercen *presiones* sobre el ambiente, afectando su calidad y la disponibilidad de sus recursos naturales –*estado*–, de tal manera que la sociedad puede entonces responder a estos cambios a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales –*respuestas*– (Figura 2).

La estructura del SNIA se organiza centralmente a partir de un núcleo de conjuntos de indicadores que recibe influencia y la ejerce sobre otras iniciativas –mostrado en la figura por las ondas que los envuelven–, tales como los conjuntos internacionales, los indicadores ambientales estatales, los regionales y otras iniciativas particulares.

---

[2] La página electrónica del SNIARN puede consultarse dentro del portal Web de la SEMARNAT, en la sección de Información Ambiental.

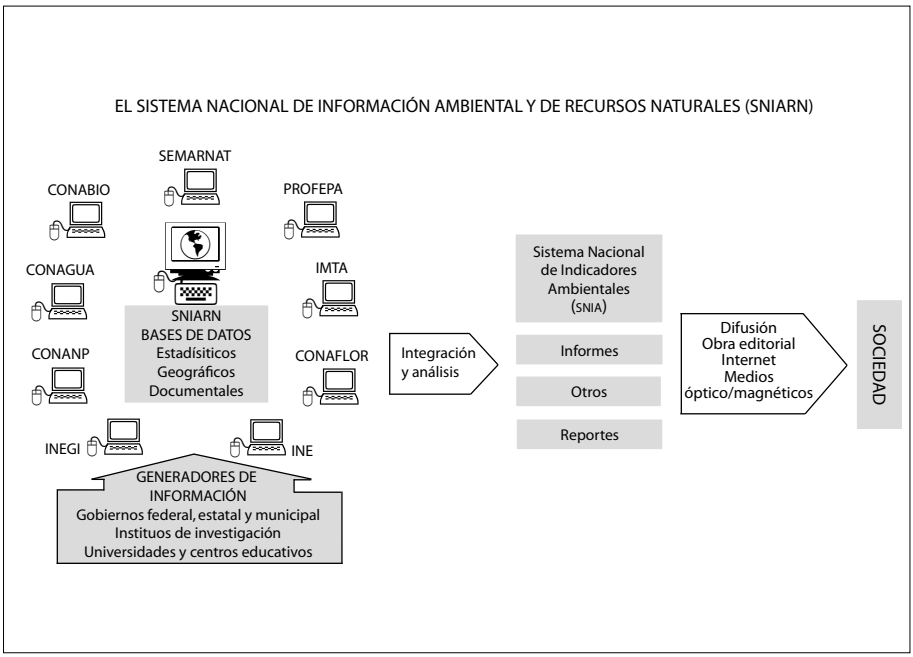


Figura 1. El Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) y su relación con el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales.

El núcleo central de indicadores está compuesto a su vez por tres unidades: el conjunto básico de indicadores de desempeño ambiental, el conjunto intermedio y los indicadores clave. Los indicadores de estos conjuntos se alimentan de los datos estadísticos y geográficos contenidos en la Base de Datos del SNIARN (BADESNIARN).

La estructura piramidal del SNIA responde fundamentalmente al número y al grado de integración de la información en los indicadores contenidos en los distintos conjuntos. Mientras que el conjunto básico incluye más de 100 indicadores, el de los indicadores clave posee tan solo 15. Esta estructura también considera el hecho de que los conjuntos comparten indicadores entre sí; sin embargo, aunque podría pensarse que unos son subconjuntos de otros, debe notarse que no lo son en sentido estricto: algunos de los conjuntos poseen indicadores exclusivos.

A continuación se describen con mayor detalle cada uno de los conjuntos núcleo de indicadores ambientales que forman al núcleo de conjunto y a las restantes iniciativas.

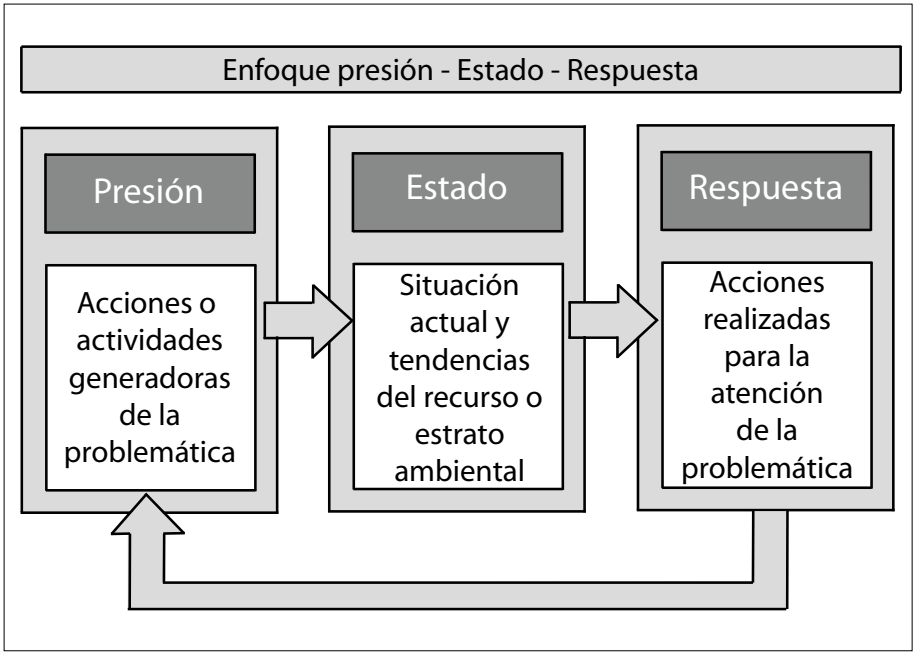


Figura 2. Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER).
Fuente: OECD, 1993.

Conjunto básico de indicadores de desempeño ambiental

Este conjunto es la base estructural del grupo núcleo del SNIA. Está compuesto por indicadores orientados fundamentalmente a la evaluación del desempeño ambiental del país. Incluye cerca de 140 indicadores, distribuidos en los temas de atmósfera, agua, suelos, residuos sólidos municipales, residuos peligrosos, biodiversidad, recursos forestales y pesqueros. El conjunto incluye, además de los indicadores propiamente dichos, más de 450 variables o desagregación de la variable original –que se pueden utilizar en sí mismas como indicadores para ciertos propósitos– que permiten conocer cada uno de los temas con mayor amplitud y, por consiguiente, hacen posible una mejor interpretación del tema al que pertenecen. El nivel de profundidad que cubren los indicadores en los distintos temas de este conjunto, lo hace ideal para uso por parte del público especializado, preocupado por conocer a mayor profundidad los detalles de los temas de su interés.

Conjunto de indicadores clave

Los indicadores clave forman la cima del grupo núcleo del SNIA. Al igual que otros conjuntos de indicadores clave –como los *Key Environmental Indicators* de la OCDE–, tienen como propósito final la amplia comunicación de información ambiental. Está integrado por un total de 15 indicadores que abarcan temas como biodiversidad, agua, atmósfera –que considera a la calidad del aire, el cambio climático y la capa de ozono–, residuos sólidos municipales, residuos peligrosos, suelos y recursos forestales. El público al que está dirigido es básicamente los tomadores de decisiones, para quienes en muchos casos no es posible la revisión y el análisis del conjunto básico, y la sociedad civil, en su mayoría no especialistas en estos temas.

Conjunto de indicadores internacionales

Las iniciativas integradas aquí son aquéllas promovidas por organismos internacionales, tales como la Organización de las Naciones Unidas –ONU– o la OCDE, o por acuerdos bilaterales con otros países, como es el caso del conjunto de indicadores del Programa Ambiental México-Estados Unidos Frontera 2012. Estos conjuntos de indicadores intentan ubicar al país en el contexto internacional respecto a temas específicos.

Conjunto de indicadores ambientales estatales

Los indicadores contenidos en este conjunto están orientados al análisis del desempeño ambiental en el ámbito estatal. Su contenido se establece de acuerdo con las características y necesidades propias de cada estado. En la actualidad el sistema cuenta sólo con el sistema de indicadores ambientales del estado de Hidalgo, pero se está trabajando con otros estados para que definan y documenten su conjunto de indicadores.

Conjunto de indicadores regionales

Este conjunto, actualmente en desarrollo, pretende incluir indicadores destinados a regiones particulares del país que por su naturaleza requieran de una

evaluación y monitoreo específico. En este conjunto se incluirán principalmente los indicadores que forman parte de los ordenamientos ecológicos decretados y que servirán para evaluar el funcionamiento de esos instrumentos de planeación. Cabe señalar que, de acuerdo con el Reglamento de Ordenamiento Ecológico publicado en 2003, todos los ordenamientos ecológicos en los que participa el gobierno federal deben incluir una bitácora ambiental que contenga un conjunto de indicadores que permitan seguir la evolución de los ordenamientos ecológicos decretados.

El futuro del SNIA

Los siguientes pasos del SNIA se encaminan en dos direcciones distintas: por un lado, la que se refiere a la cantidad de información y temas incluidos y la que se orienta a la difusión y acceso a la información contenida en el sistema. Además de seguir completando cada uno de los conjuntos ya descritos, el SNIA deberá crecer para incluir otros conjuntos que brinden información al público sobre los temas que les interesan. Por ejemplo, los relativos al desarrollo sostenible o la relación salud humana-ambiente.

Un problema que han tenido los trabajos sobre indicadores es su falta de conexión con sistemas de información que les permitan su actualización rápida; en ese sentido, a corto plazo, se automatizará el proceso de documentación de los indicadores, de tal manera que permita que en la medida en que se incorpore información a las bases de datos, el cálculo y presentación de los resultados del indicador serán también prácticamente al mismo tiempo. De manera paralela será necesario trabajar para que los diferentes conjuntos de indicadores sean cada vez más conocidos y usados por el público y los tomadores de decisiones; un paso imprescindible para lograrlo será producir productos de calidad con información confiable y accesible.

Referencias

IFEN (1997), *Environmental Performance Indicators in France 1996-1997 Edition*, Institut Francais de L´ Environnement, France.

INE (2000), *Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000*, Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

INEGI-SEMARNAT (2000), *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*, Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

OECD (1993), *Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the Group on the State of the Environment*, Organization for Economic Co-operation and Development, France.

OECD (2003), *Environmental indicators. Development, measurement and use*, Organization for Economic Co-operation and Development, France.

Reid, W. V., J. A. McNeely, D. B. Tusntall, D. A. Bryant and M. Winograd (1993), *Biodiversity indicators for policy-makers*, World Resources Institute, USA.

SEMARNAT (2006), *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México: 2005*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

SEMARNAT-INEGI (2006), *Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible. Indicadores de Seguimiento: México 2005*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática, México.

SEMARNAT-EPA (2006), *Situación ambiental en la región fronteriza. Reporte de Indicadores 2005*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Environmental Protection Agengy, México-EUA.

Experiencia del INEGI en la elaboración de Indicadores Ambientales y de Desarrollo Sustentable

Carlos Roberto López Pérez
Dirección General de Estadística, Estadísticas de Recursos Naturales y Medio Ambiente,
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Introducción

La humanidad vive una época de grandes transformaciones, mucho más rápidas que en el pasado y mucho más relacionadas entre sí en los aspectos demográfico, tecnológico, económico y territorial, cuya materialización se refleja, por un lado, en los patrones intensivos de producción y consumo de recursos naturales, materiales y de energía, y por otro, en un estado crítico de deterioro y agotamiento de diversos ecosistemas y riquezas naturales. Esta situación ha llevado a la comunidad internacional y a los países en particular a adoptar cambios institucionales y legales, así como a la instrumentación de políticas y estrategias para hacer sustentable el proceso de desarrollo. También ha motivado la revisión y adecuación de los instrumentos de información, análisis y medición de los cambios en el estado de los recursos naturales y ambientales y sus vínculos con los factores económicos y sociales que inciden en la alterabilidad de aquéllos. La investigación y construcción de indicadores, que faciliten el diseño y evaluación de políticas para la gestión sustentable, nos atañe a todos y especialmente a las instituciones directamente involucradas con el desarrollo de la información.

El propósito de este ensayo es reseñar la aportación y experiencia del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en la elaboración de indicadores ambientales y de desarrollo sustentable, y está estructurado en cuatro capítulos: *i)* exploración de los marcos institucionales, legales y conceptuales involucrados en la generación, integración y difusión de dichos indicadores; *ii)* documentar las bases técnicas, conceptuales y metodológicas utilizadas para la construcción de los indicadores; *iii)* proporcionar una idea general del instrumental teórico-práctico puesto en juego por el INEGI en la elaboración de tales

herramientas de información, y *iv)* aportar las lecciones aprendidas y algunos horizontes sobre el trabajo por venir.

Marcos de referencia para la generación, integración y difusión de indicadores de desarrollo sustentable en México

A la luz de la Ley de Información Estadística y Geográfica (LIEG),[1] el INEGI tiene el encargo o misión de "generar, integrar y proporcionar información estadística y geográfica de interés nacional, así como normar, coordinar y promover el desarrollo de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica, para satisfacer las necesidades de los diversos sectores de la sociedad". En el marco de los comités técnicos sectoriales, regionales y especiales, tales facultades le han permitido al INEGI concertar, coordinar y participar con las diversas instituciones nacionales la instrumentación de proyectos de generación de información estadística y geográfica, además de desarrollar la información que es de su propia competencia. En materia de información ambiental y de recursos naturales, y por estipulaciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), las actividades mencionadas han venido coordinándose entre la SEMARNAT y el INEGI.

El logro de las metas nacionales, regionales y locales en materia de información sobre medio ambiente y desarrollo sustentable, parte de estrategias de evaluación, planeación y ejecución de políticas públicas. Paralelamente, esta información permite elevar la conciencia de la ciudadanía y los diferentes sectores sociales ante el impacto ambiental de las actividades económicas, favorece la investigación científica en temas ambientales prioritarios en las universidades y centros académicos, satisface los requerimientos de información de los organismos internacionales que dan seguimiento a problemas ambientales regionales y globales, y facilita la elaboración de informes de progreso en materia ambiental ante las convenciones y protocolos globales y multilaterales de los que México es país vinculante.

El diseño de estas metas requiere de sistemas o bases estructuradas de información (agrupados en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales y en los Sistemas Nacionales de Estadística e Información Geográfica), que respondan a procesos compartidos y coordinados para estan-

[1] Una nueva Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) está en proceso de aprobación en las cámaras legislativas, la cual reglamentará la nueva figura de autonomía del INEGI.

darizar la producción, compilación, sistematización y difusión de estadísticas e indicadores (nacionales, regionales, locales; sectoriales; temáticos; ecosistémicos), cuyos desarrollos habrán de guiarse a través de tres grandes marcos de referencia (Figura 1).

Marco legal y programático

Análisis de las leyes y sus reglamentos en materia ambiental, así como los planes y programas (nacionales, sectoriales, regionales, especiales) para identificar en ellos los enunciados de políticas, planeación y ordenamiento del territorio de los asentamientos humanos y las actividades productivas y la vinculación de éstas con los ecosistemas y la base de recursos naturales, materiales y energéticos.

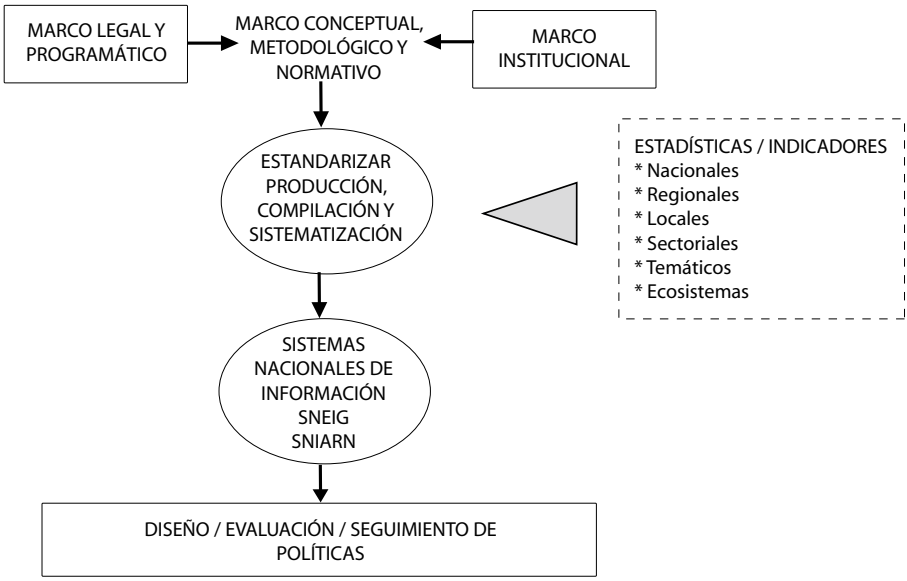


Figura 1. Marcos de acción sobre generación, integración y difusión de información ambiental.

Marco institucional

Conjunto de instituciones de los ámbitos público, privado, académico y no gubernamental que, de manera individual y/o a través de comités técnicos, convenios y/o grupos de trabajo, se coordinan e interactúan para el estudio y generación de información sobre los recursos naturales y fenómenos ambientales en México. De acuerdo con este esquema institucional, no sólo se da respuesta a las prioridades de la agenda nacional sino también a las convocatorias de organismos internacionales para el desarrollo de sistemas de indicadores en temas emergentes o de importancia supranacional.

Marco conceptual, metodológico y normativo

Conjunto de bases conceptuales, guías metodológicas y normas y estándares nacionales e internacionales sobre medio ambiente y desarrollo sustentable puestas en práctica para la elaboración de estadísticas e indicadores y la integración de éstos a los sistemas de información ambiental. Las experiencias sobre este marco de referencia se exponen con mayor detalle a continuación.

Bases técnicas, conceptuales y metodológicas para la construcción de indicadores de desarrollo sustentable

Una reseña del trabajo y experiencia del INEGI en materia de indicadores ambientales y de desarrollo sustentable requiere contextualizar y dar cuenta de las actividades realizadas en el campo de las estadísticas del medio ambiente. Esta tarea ha significado: *a)* explorar los lineamientos conceptuales internacionales, particularmente los de Naciones Unidas, sobre la concepción, dimensiones y categorización de los recursos naturales y fenómenos ambientales desde el punto de vista de la información disponible; *b)* revisar las prioridades nacionales establecidas en los programas y políticas de evaluación y protección ambiental (Plan Nacional de Desarrollo, Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales del sector, entre otros), susceptibles de evaluarse con dicha información; *c)* búsqueda y acopio de información en sus diferentes fuentes sectoriales y disciplinas del conocimiento; y *d)* integración de dicha información conforme a la estructura conceptual para su difusión en compendios estadísticos. Una breve reseña de

este trabajo se presenta a continuación para luego describir las experiencias sobre indicadores de desarrollo sustentable.

Concepción de la estadística ambiental

De acuerdo con Naciones Unidas, "las estadísticas ambientales describen el estado y las tendencias del ambiente, cubriendo los medios naturales (aire/clima, agua, tierras/suelos), la biota que se encuentra dentro de estos medios, y los asentamientos humanos" (ONU, 1985). En otras palabras, se clasifica el espectro ambiental en dos subsistemas interrelacionados: *a)* el ambiente natural, es decir, los bienes o activos naturales y sus ciclos y procesos, y *b)* el medio construido o artificial creado por el hombre (los asentamientos humanos), en tanto hábitat primario de la sociedad, y las actividades y procesos que ésta lleva a cabo transformando los recursos, energía y bienes materiales, y realizando las funciones y servicios para la satisfacción de sus necesidades. Por otra parte, al describir la dinámica de las estadísticas ambientales, se dice que éstas "son integradoras por naturaleza, midiendo las actividades humanas y los fenómenos naturales que afectan al ambiente, los efectos de estas actividades y fenómenos, las respuestas sociales a los impactos ambientales, y la calidad y disponibilidad de los activos naturales" (ONU, 1985; Figura 2).

La definición no pretende reflejar circularidad o causalidad directa o inmediata entre los procesos sino categorizar éstos o las interrelaciones y sus desgloses en temas, subtemas y variables, que posibilitan captar en qué medida un fenómeno dado tiende a su corrección, restauración o minimización, o en su defecto, a su agudización. Su estructura también está diseñada para enlazarse con otros sistemas de información de manera tal, al final de ese "ciclo", de cuantificar económicamente el desempeño de la sociedad en su relación con el medio ambiente desde la óptica de la sustentabilidad. Esta preocupación se inspiró en el informe *Nuestro futuro común* (UNO, 1987) o *Informe Brundtland*, elaborado por la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (presidida por Gro Harlem Brundtland) y adoptado oficialmente por el organismo supranacional. Dicho estudio "constituye el acuerdo más amplio entre científicos y políticos y sintetiza los desafíos globales en materia ambiental en el concepto de desarrollo sustentable" (INEGI-INE, 2000). En este contexto cobra fuerza la idea de introducir la contabilidad ambiental en las cuentas nacionales, asumiendo que el agotamiento y la degradación de los recursos naturales podían deducirse del ingreso y el producto nacionales en el sistema de cuentas naciona-

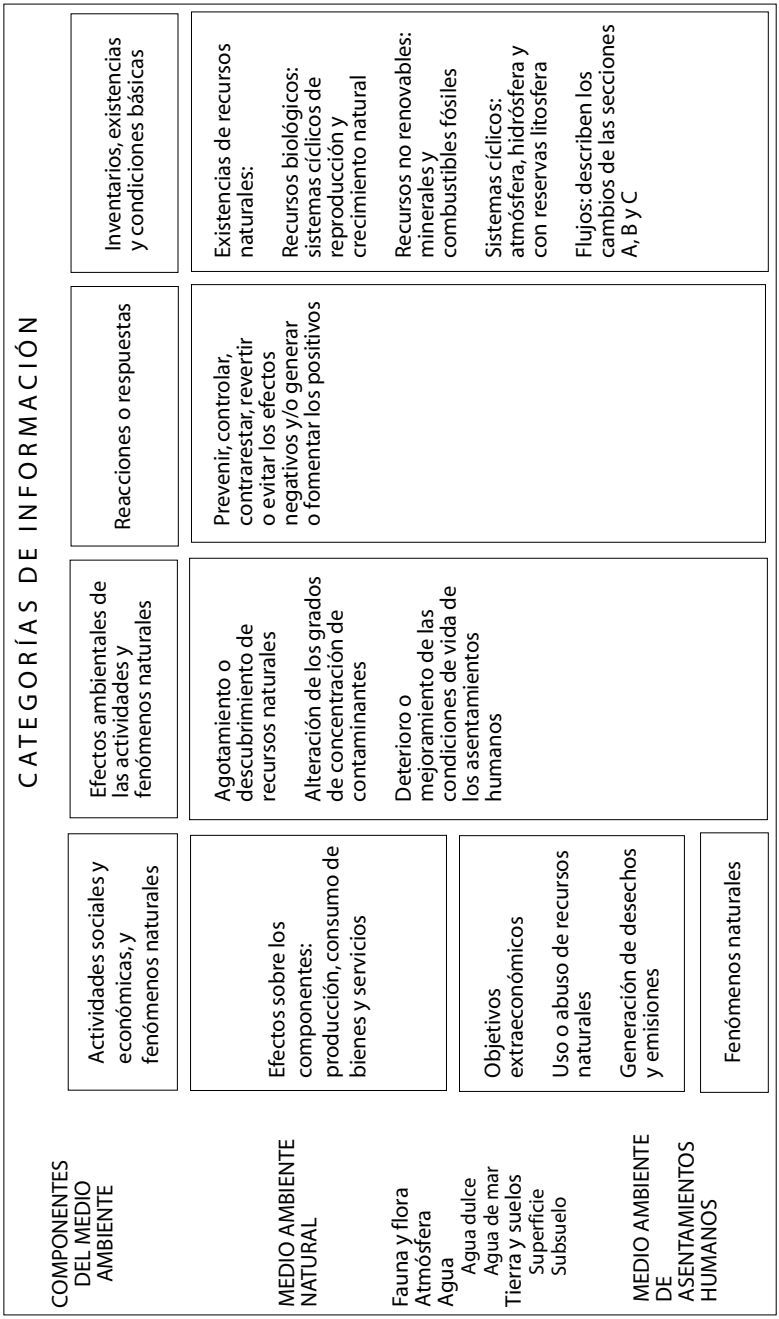


Figura 2. ONU: componentes ambientales y categorías de información. Leyendas: ninguna (fuente: ONU, 1985).

les, modificándolos con base en la cuantificación que aportasen las estadísticas e indicadores ambientales (Figura 3).

Las estadísticas del medio ambiente, a través de sus cuatro categorías de información, proveen la base de datos para elaborar las cuentas de los activos o recursos naturales, las que a su vez suministran las bases de datos físicos correspondientes a la dimensión ambiental asociada a las cuentas nacionales, con el propósito de reflejar el estado general y los cambios de los bienes naturales y los servicios ambientales de un país.

Los indicadores de desarrollo sustentable

No obstante su aparición hace treinta años,[2] las estadísticas del medio ambiente siguen siendo un campo de información relativamente nuevo y en evolución y, al mismo tiempo, son la base para la elaboración de los indicadores ambientales y de desarrollo sustentable, que surgen en fechas posteriores, concretamente a partir de la Cumbre de Río de Janeiro en 1992, en la que la casi totalidad de jefes de Estado del mundo ratificó el *Informe Brundtland* y además aprobó el Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable o *Agenda 21*. Esta Agenda ha significado el compromiso de los países de "adoptar medidas nacionales y globales en materia de sustentabilidad como también acciones orientadas a la generación de indicadores a través de los cuales se puedan medir y evaluar las políticas y estrategias en materia de desarrollo sustentable" (INEGI-INE, 2000).

El desarrollo sustentable –en su noción clásica de "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras"– ha sido definido en tres dimensiones generales interdependientes: económica, social y ambiental, susceptible de representarse geográficamente en los niveles nacional, regional y local. Esquemáticamente, el proceso causa-efecto de la contaminación y la perspectiva de sustentabilidad puede observarse en la Figura 4: los patrones de producción y consumo de las actividades humanas presionan la disponibilidad de los recursos naturales y ambientales, ocasionando impactos de agotamiento/deterioro cuyas consecuencias afectan la cantidad y calidad tanto de los activos del capital natural y del capital económico como del desarrollo social. Para revertir estas tendencias se diseñan e instrumentan políticas y estrategias

[2] Después de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Humano (Estocolmo, 1972) se dan los primeros pasos en el desarrollo de la estadística ambiental en los órganos de Naciones Unidas y en algunos países.

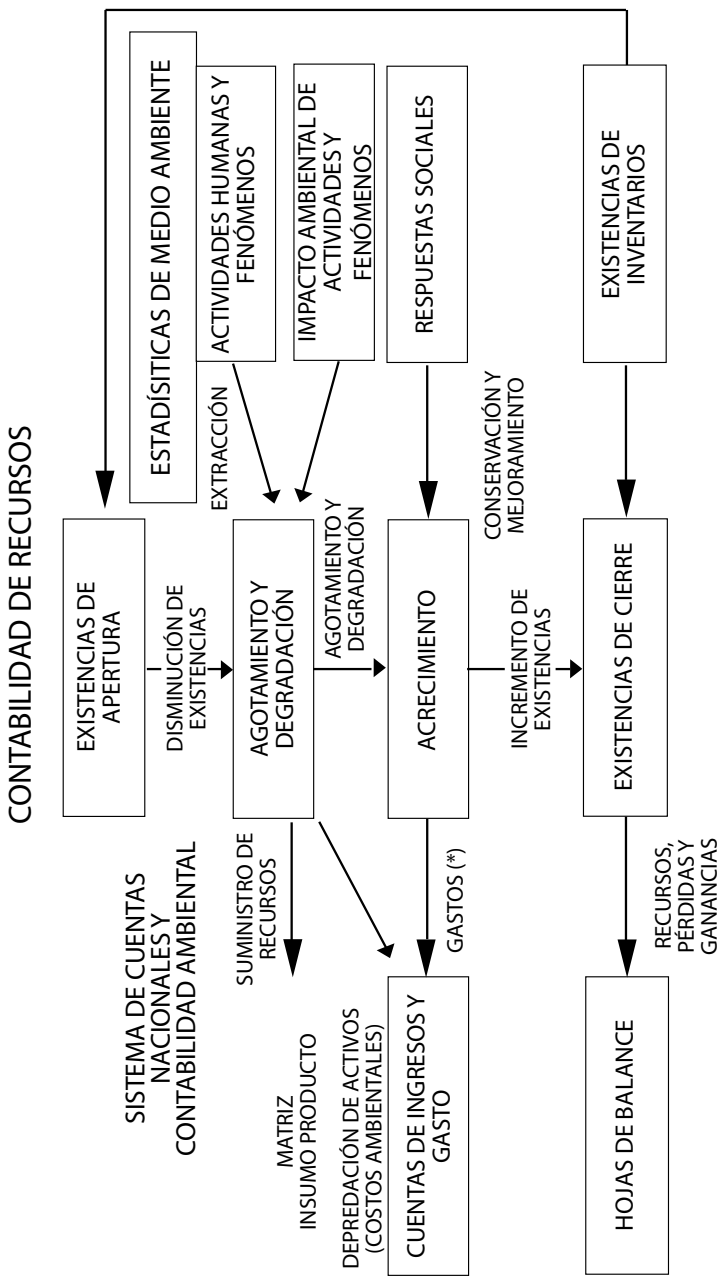


Figura 3. ONU: enlaces de los Sistemas de Información Ambiental (fuente: ONU, 1992).

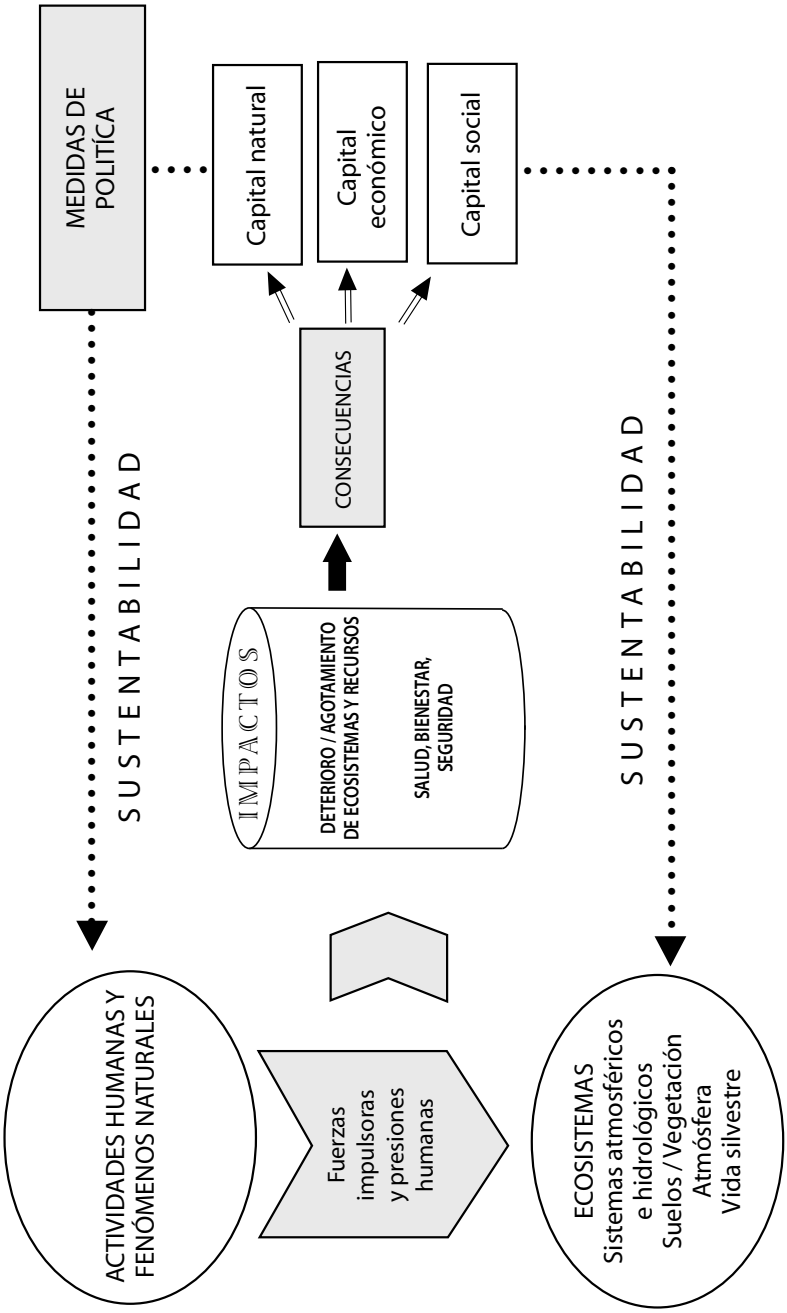


Figura 4. Proceso causa-efecto de la contaminación y perspectiva de sustentabilidad (fuente: INEGI, 2000).

de protección y prevención orientadas directamente hacia los tres pilares del desarrollo sustentable y también hacia las actividades humanas y los ecosistemas.

Con el propósito de medir e instrumentar el concepto de desarrollo sustentable a través de indicadores, la Comisión de Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas, planteó el enfoque de la sustentabilidad con una cuarta dimensión que involucra y articula los mecanismos políticos y de gestión: la institucional (UNO, 1996). Las 3+1 dimensiones de la sustentabilidad han servido de marco conceptual de referencia para la aplicación de la metodología en la construcción de los indicadores (Figura 5): en el periodo 1995-2000, la Comisión de Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas instrumentó el Programa de Trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sustentable, que consistió en la realización de una prueba piloto en la que participaron 22 países (México incluido) para poner a prueba la construcción de 134 indicadores para los 40 capítulos de la *Agenda 21*.

Una forma más precisa de entender los alcances de la sustentabilidad fue acordada en 2001 por los países miembros de la OCDE en su Estrategia Ambiental para la presente década, orientada a proveer direcciones claras para las políticas sustentables ambientalmente, proponiendo cuatro criterios que definen la sustentabilidad ambiental (Tabla 1).

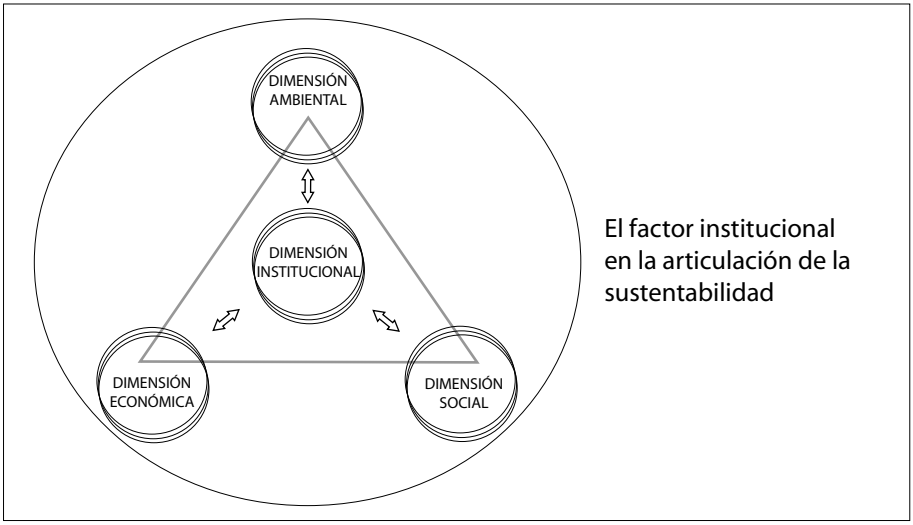


Figura 5. Las 3+1 dimensiones del desarrollo sustentable (fuente: INEGI, 2000).

Tabla 1. Criterios específicos para definir la sustentabilidad ambiental

Criterios	Conceptos
Regeneración	Uso eficiente de los recursos renovables sin exceder sus niveles de regeneración a largo plazo.
Sustentabilidad	Uso eficiente de los recursos no renovables a niveles limitados y que puedan compensarse con el uso de recursos renovables u otras formas de la capital.
Asimilación	Emisiones de sustancias peligrosas que contaminan al ambiente sin exceder la capacidad asimilativa de éste; las concentraciones serán mantenidas bajo niveles críticos establecidos para la protección de la salud humana y el ambiente. Cuando la capacidad asimilativa es efectivamente cero, se requiere que las emisiones sean cero para evitar su acumulación en el ambiente.
Evitar irreversibilidad	Evitar los efectos adversos irreversibles de las actividades humanas sobre los ecosistemas y los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos. Salvaguardar dichos impactos a los procesos naturales capaces de mantener o restaurar la integridad de los ecosistemas. Mantener los diferentes niveles de resiliencia y capacidad de carga de los ecosistemas a fin de conservar sus poblaciones de especies libres de peligro o amenazas a su extinción.

Fuente: OECD (2001).

Otro acontecimiento relevante es la Cumbre Mundial de Desarrollo Sustentable de Johannesburgo (2002), que tanto en su Declaración como en el Plan de Implementación los gobiernos del mundo acordaron compromisos y responsabilidades compartidas por una mejor calidad de vida en todas las regiones y grupos sociales, proponiendo medidas efectivas para facilitar el cumplimiento de las Metas de Desarrollo del Milenio (Nueva York, 2000). Asimismo, en estos cónclaves se hacen llamados a los gobiernos y las sociedades a instrumentar acciones que permitan contar con herramientas de información, transparentes y verificables para monitorear, registrar y evaluar la eficiencia de funcionamiento del aparato productivo en armonía con la utilización racional de los recursos naturales, con el fin último de mejorar los niveles de bienestar y calidad de vida de la población.

A la par de los criterios mencionados, un propósito fundamental es la comunicación de resultados, esto es, proveer información al público sobre el progreso en las metas alcanzadas del desarrollo sustentable acordadas por la comunidad internacional. La evaluación de estas metas ha de hacerse conforme a un conjun-

to de indicadores previamente establecidos por cada país, organizados en temas que reflejen las prioridades nacionales y los compromisos políticos internacionales, entre ellos, los emanados de las convenciones mundiales o protocolos vinculantes. Una vía en esa dirección es la propuesta por Eurostat (Figura 6): los indicadores a ser utilizados por los tomadores de decisiones se jerarquizan de acuerdo con las prioridades ambientales (divididas en temas, subtemas y áreas críticas más específicas), los objetivos de política (para monitorear el desempeño ambiental a diferentes escalas) y los correspondientes niveles de decisión.

La evolución del enfoque tridimensional de la sustentabilidad refleja las preocupaciones por interrelacionar dinámicamente, a través de indicadores, los factores de presión ambiental, los impactos de éstos y las políticas de protección: desde una óptica separada o desvinculada entre las tres dimensiones, hacia una en la que éstas se interceptan para medir equilibrios o desequilibrios, y más recientemente hacia otra que vincula globalmente a las tres, en donde la sociedad es vista como el fin último del desarrollo sustentable (Figura 7).

El análisis y medición de la sustentabilidad a través de indicadores ha estado realizándose por los países mediante un marco ordenador estructurado en tres categorías de información: Presión-Estado-Respuesta (PER), diseñado y dado a conocer por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1993. Este modelo provee una visión representativa de una problemática ambiental determinada, indagando sobre las cuestiones siguientes: ¿cuáles son las presiones al ambiente (proveedores de recursos) y qué actividades las ocasionan?; ¿cuál es el estado del ambiente y qué y dónde se debe monitorear?; y con la información obtenida, ¿qué se está haciendo, en términos de políticas y acciones para encarar estos síntomas? (Figura 8).

Si bien el esquema PER es una herramienta que actualmente es utilizada en muchos países para monitorear el estado del ambiente, un marco ordenador de mayor complejidad ha sido propuesto por la Agencia Europea Ambiental a partir de 1999 y adoptado por la mayoría de países de la Unión Europea, el FPEIR: Fuerzas Conductoras (sectores tales como industria y transporte) que ejercen Presiones al ambiente (desechos y emisiones contaminantes), las cuales entonces degradan el estado del ambiente (en agua, atmósfera, tierras y otros recursos), ocasionando impactos en la salud humana y los ecosistemas, llevando a la sociedad a adoptar respuestas a través de medidas políticas (regulaciones, información e impuestos) que pueden dirigirse hacia los agentes o factores del sistema (Figura 9).

El monitoreo del desempeño ambiental y de sustentabilidad requiere la construcción de una base de indicadores, cuya fortaleza descansa en su capacidad de informar cuán bien el medio ambiente está siendo protegido. Por ello sus atributos

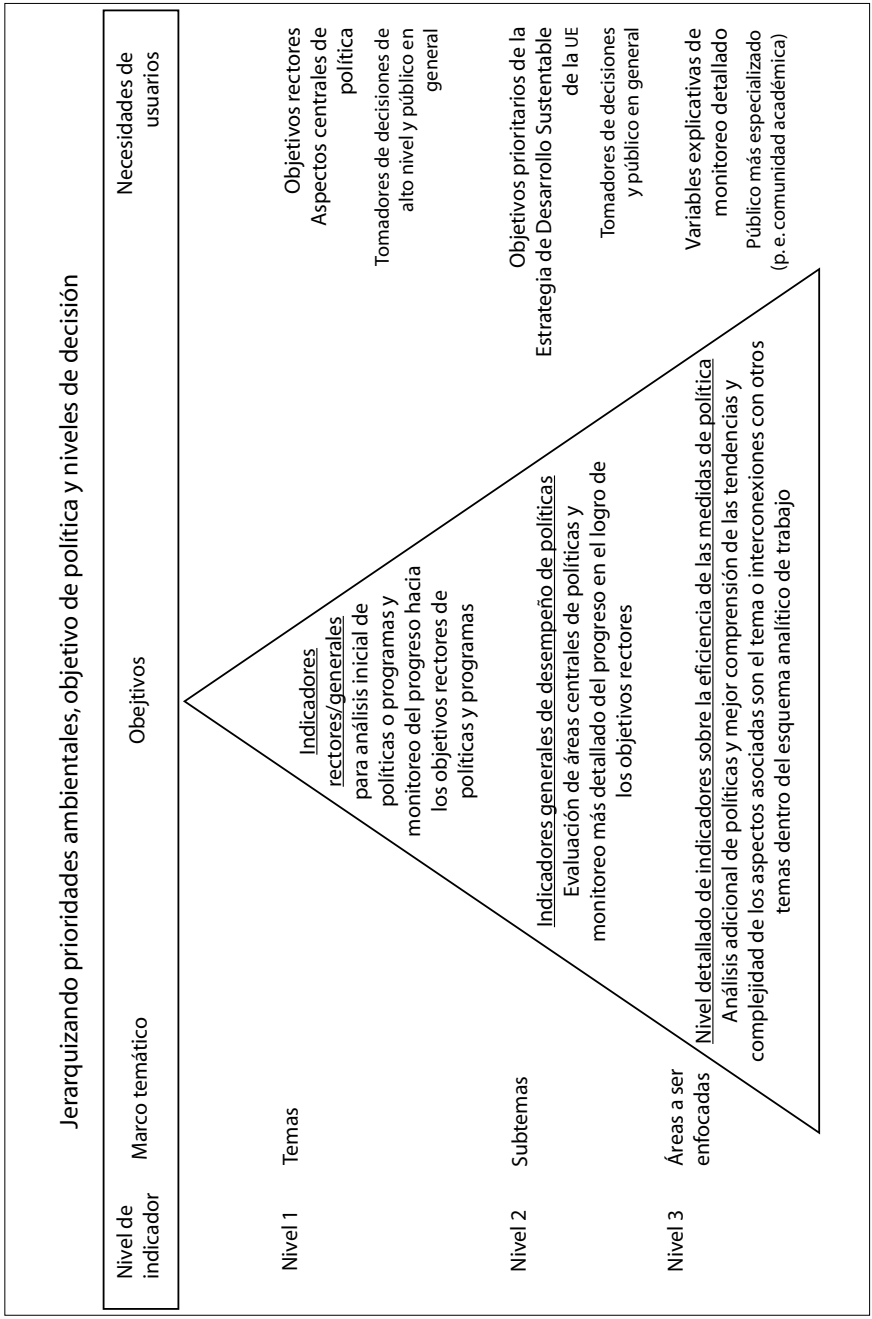


Figura 6. Pirámide de indicadores – jerarquizando prioridades ambientales, objetivos de política y niveles de decisión (fuente: adaptado por INEGI de Eurostat, www.europa.eu.int/comm/eurotatst/sustainabledevelopment).

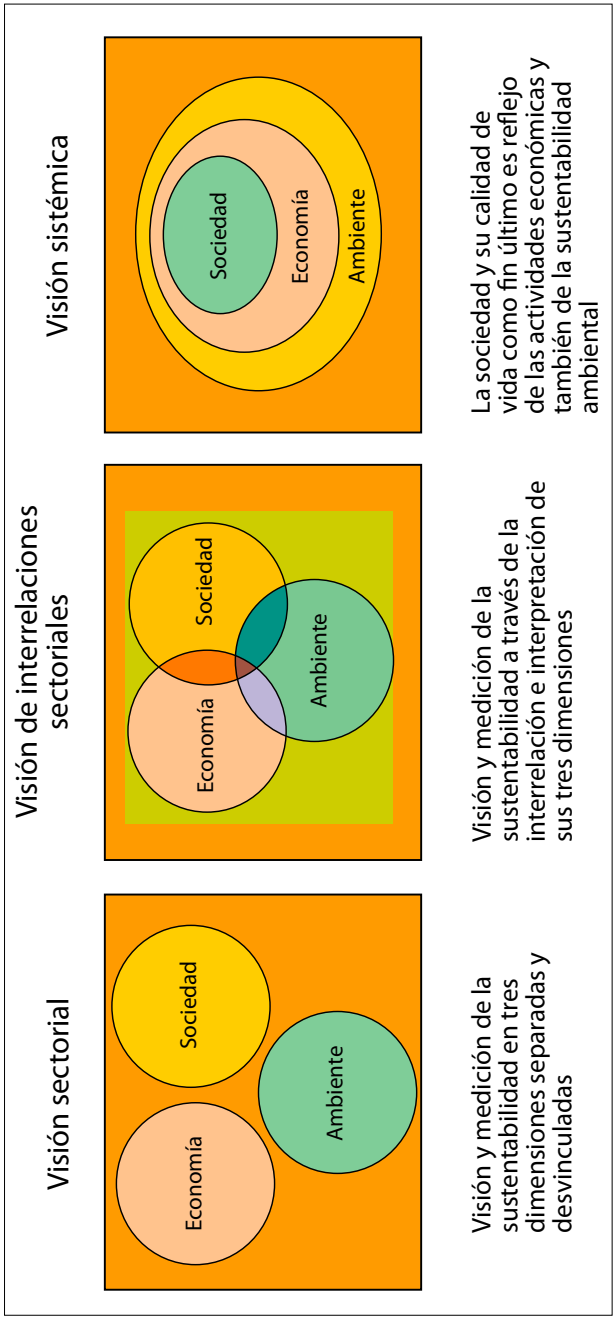


Figura 7. Evolución del enfoque de sustentabilidad (fuente: INEGI, 2003 adaptado de INEGI, 2002).

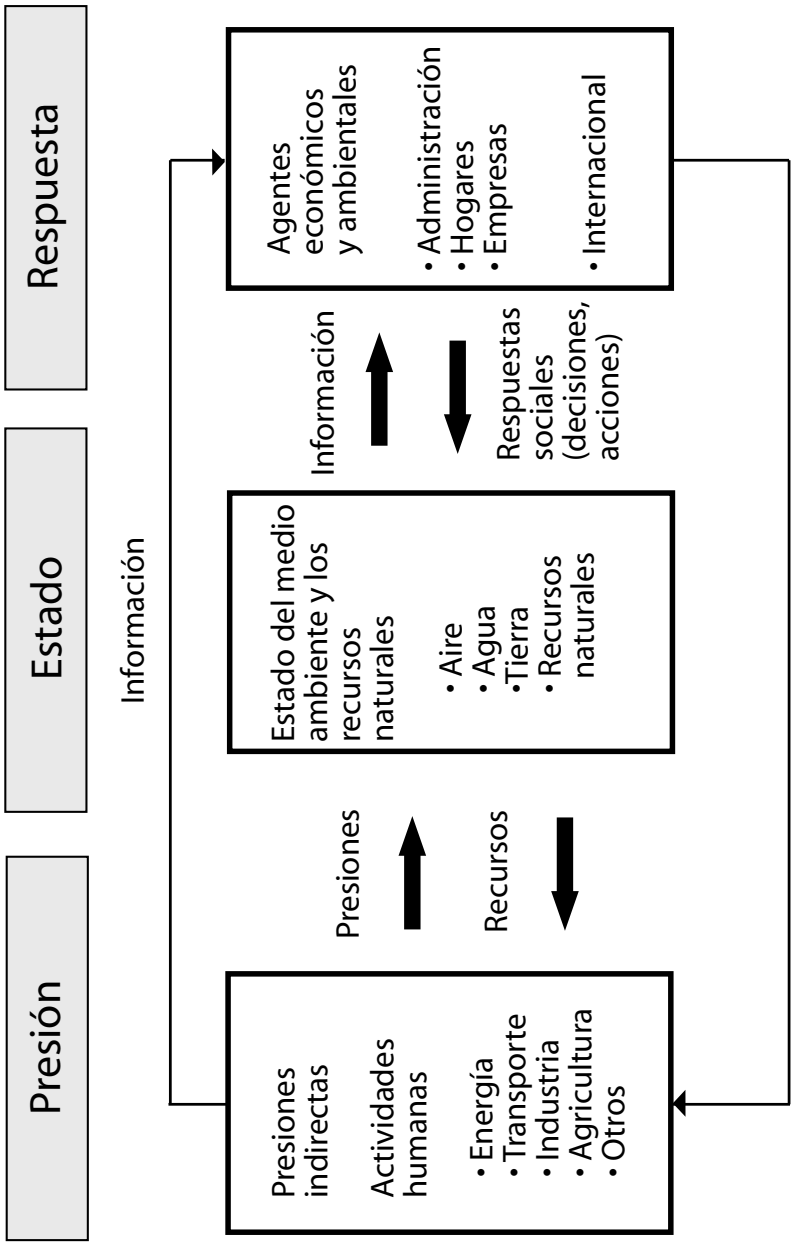


Figura 8. Marco ordenador OCDE: modelo PER (fuente: OECD, 1993).

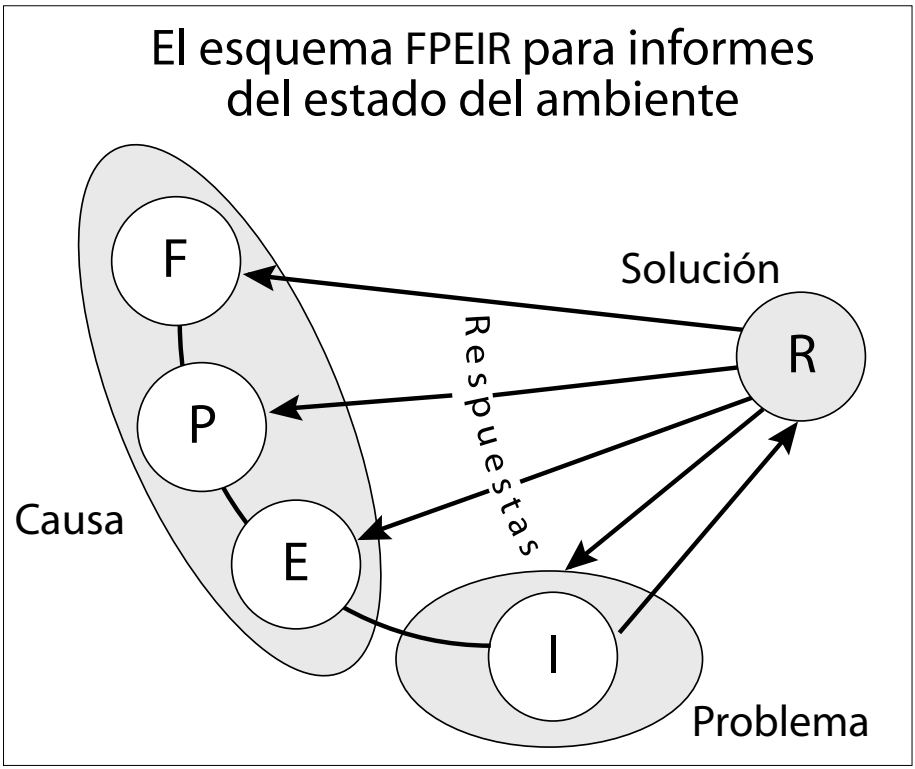


Figura 9. Marcos ordenadores de mayor complejidad. El esquema FPEIR para informes del estado del ambiente (fuente: EEA, 2005).

y función deben responder a determinados criterios: más allá de responder a necesidades de diseño y/o evaluación de políticas, elaboración de informes del estado del ambiente, reportes a organismos internacionales, entre otros, los indicadores requieren ser representativos del sistema objeto de evaluación y con representatividad en el tiempo, construidos dentro de un marco analítico de referencia, uso de metodologías estándar en la recopilación de datos, capaces de distinguir los cambios inducidos por el factor humano de las variaciones naturales, útil para describir las causas, efectos y respuestas, tener capacidad predictiva, entre otros. Además, deben medir los cambios en escalas geográficas o temporales apropiadas y también con la cobertura temática indispensable. Un punto de referencia a este respecto es que los informes general y por país del estado del medio ambiente en la Unión Europea, abarcan un cuerpo central de indicadores en diez temas

sobre recursos naturales y medio ambiente: agricultura, agua, ambiente terrestre, calidad del aire, biodiversidad, cambio climático, desechos, energía, pesquerías, transporte (EEA, 2005). En México, son nueve los temas centrales que se abordan en el informe del estado del ambiente: población, vegetación y uso de suelo, suelos, biodiversidad, aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre, atmósfera, agua, residuos, e instrumentos de planeación (SEMARNAT, 2006).

La experiencia del INEGI en la elaboración de indicadores de desarrollo sustentable

Con base en los elementos comentados en los capítulos anteriores, y a la luz de las publicaciones realizadas en la materia, a continuación se reseñan las experiencias que ha llevado a cabo el INEGI en la elaboración de indicadores de desarrollo sustentable. Este trabajo consistió en la revisión, adaptación, diseño y aplicación de un instrumental teórico-práctico, que abarca aspectos relacionados con: marcos de referencia conceptual, metodologías, inventarios de fuentes de información, obtención de información con base en censos, encuestas y registros, vinculación y direccionalidad de los indicadores hacia los objetivos y metas de programas y políticas, entre otros. Algunas de estas herramientas, ya expuestas en el capítulo anterior y otras que se muestran a continuación, tienen el propósito de ilustrar de qué manera la información es estructurada en indicadores bajo criterios y procedimientos homogéneos, orientados a su armonización, sistematización y comparabilidad en los planos local, regional, nacional e internacional.

La construcción de indicadores de desarrollo sustentable se ha basado en guías metodológicas en temas de interés nacional, regional y local, y también en temas que son de preocupación internacional. Estas guías u hojas metodológicas son diseñadas mediante procesos de consulta entre expertos y responden a prioridades de los países. Su estructura contiene los elementos conceptuales y metodológicos esenciales, así como el soporte técnico de la información utilizada, capaces de comunicar a los usuarios la función del indicador (Tabla 2).

Otro paso fundamental en la construcción de los indicadores ha sido la realización de un inventario de la información (estadística, geográfica, documental) en sus diversas disciplinas o sectores y sus fuentes, tanto de levantamiento como de la institución responsable (Tabla 3).

Entre las fuentes y métodos de obtención de información están: **c**ensos, encuestas, registros, cartografía temática, información coyuntural, datos de mo-

Tabla 2. Prototipo de hoja metodológica de indicadores

1	Nombre del indicador	Consumo anual de energía por habitante (Ejemplo)	
Dimensión del indicador: Económica		Agenda 21 - Capítulo 4: Cambio de patrones de consumo	Categoría del indicador según el esquema Presión-Estado-Respuesta: Presión
1	Indicador		
1.1	Nombre		
1.2	Definición breve		
1.3	Unidad de medida		
2	Relevancia		
2.1	Propósito		
2.2	Relevancia para el desarrollo sustentable / insustentable		
2.3	Relación con otros indicadores		
2.4	Objetivos y metas		
2.5	Convenios y Acuerdo Internacionales		
3.	Descripción metodológica y definiciones importantes		
3.1	Definiciones y conceptos		
3.2	Métodos de medición		
3.3	Limitaciones del indicador		
3.4	Estado de la metodología		
3.5	Definiciones alternativas		
4	Evaluación de la disponibilidad de información de fuentes nacionales e internacionales		
4.1	Datos necesarios para compilar el indicador		
4.2	Disponibilidad nacional e internacional de datos		
5	Instituciones / organismos involucrados en el desarrollo del indicador		
5.1	Institución responsable		
5.2	Otras instituciones participantes		
6	Referencias adicionales		
6.1	Información estadística suplementaria		
6.2	Lecturas / documentos adicionales (incluyendo sitios en Internet)		
7	Datos del indicador		

Fuente: ONU, 1996.

Tabla 3. Inventario de información: organización y clasificación de los elementos de información para el tema agua (ejemplo)

Tema: Agua									
Variable	Clasificación o desglose	Unidad de medida	Periodicidad	Serie de tiempo	Cobertura geográfica	Organismo generador	Nivel de gobierno	Organismo integrador	Fuente
Subtema									

Fuente: INEGI, Dirección de Estadísticas de Recursos Naturales y Medio Ambiente.

nitoreo, inspección y vigilancia, mediciones de observatorio, observaciones de campo, muestreo de unidades espaciales y socioeconómicas, imágenes de satélite, laboratorio, informes de investigación y estimaciones. Es importante que todas las fuentes de información estén referenciadas a una base temporal periódica (semanal, mensual, anual, etc.) y espacial (localidad, municipal, estatal, metropolitana, nacional).

Otro aspecto fundamental es la revisión y aplicación de ciertos aspectos normativos en las estadísticas e indicadores: identificación y adecuación de estadísticas e indicadores a estándares metodológicos internacionales; desglose temático, categorías, variables y clasificaciones; clasificación y homologación de actividades; sistema internacional de unidades de medida; glosario de estadísticas ambientales; procedimientos para la generación y recopilación de estadísticas para la generación y presentación de resultados estadísticos.

A continuación se hace una revisión de las herramientas utilizadas en la elaboración de las publicaciones que ha realizado el INEGI o en que ha participado conjuntamente con otras instituciones nacionales e internacionales.

Indicadores de desarrollo sustentable en México

Incluido México, 22 países realizaron la prueba para la elaboración de 134 indicadores siguiendo las metodologías de la Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas. Cuatro talleres para analizar la utilidad y la viabilidad

de aplicación de las hojas metodológicas se llevaron a cabo: Nueva York (febrero 1995), Ghent (Bélgica, 1996), San José (Costa Rica, 1997) y Praga (República Checa, 1998); una quinta reunión se realizó en Barbados (1999) para la presentación de resultados. México logró elaborar 113 indicadores del total propuesto, distribuidos por tema en cuatro dimensiones o categorías (social, económica, ambiental e institucional) según los 40 capítulos de la *Agenda 21*.

Para dar cuenta de las características de la información y teniendo en mente actualizar periódicamente los indicadores, replicar su construcción a otras escalas geográficas y potenciar su comparabilidad con otros países, se elaboró una tabla de registro sobre los atributos de dicha información (Tabla 4). Asimismo, los indicadores son presentados según el marco ordenador Presión-Estado-Respuesta (Figura 8), que permite la evaluación ambiental y son la base para los informes del estado del ambiente.

Indicadores de desarrollo sustentable de la energía en México

Este proyecto duró de 2002 a 2005 y fue conducido por la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) con la cooperación del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, Eurostat, la Agencia Europea Ambiental y la Agencia Internacional de Energía. Su objetivo principal era elaborar indicadores de energía bajo la perspectiva del desarrollo sustentable, necesarios para la formulación y evaluación de las políticas nacionales en esa materia.

El proyecto consistió en aplicar un marco conceptual y metodológico, diseñado por la AIEA, para la elaboración de 41 indicadores sobre el desarrollo sustentable de la energía. Siete países fueron seleccionados para instrumentar la prueba piloto: Brasil, Cuba, Federación Rusa, Lituania, México, República Slovaka y Tailandia. Para intercambiar experiencias y analizar los resultados, se realizaron cuatro seminarios: Trieste (2002), Luxemburgo (2003), Nueva York (2004) y Viena (2005).

Por México participaron la Secretaría de Energía (SENER) y el INEGI, logrando elaborar el 80% de los indicadores propuestos. El esquema conceptual utilizado fue el de las 3+1 dimensiones (Figura 10) y el marco ordenador fue el de Fuerza conductora-Estado-Respuesta. Además, cada uno de los indicadores elaborados fue identificado en cuatro áreas o sectores prioritarios (socioeconómicos, oferta de energía, patrones de producción y consumo de energía, y políticas de seguridad y protección ambiental), vinculándolos también con las políticas y

Tabla 4. Información básica para elaborar el indicador

Categoría ambiental		Indicadores									
		Reservas de agua subterránea	Tratamiento de aguas residuales	Densidad de las redes hidrológicas	Índice de algas	Cambios en el uso del suelo	Cambios en la condición de las tierras	Uso de pesticidas agrícolas	Uso de fertilizantes	Uso de energía en la agricultura	Tierra cultivable por habitante
¿Es parte de programas de información ambiental?	Si	√	√	√		√	√	√	√		√
	No									√	
Método de captación de datos	Censo					√	√				√
	Encuesta							√	√		
	Registro		√	√				√	√	√	√
Actualización	Anual		√	√				√	√	√	√
	Decenal					√	√				
	Irregular	√				√	√			√	
Ámbito geográfico	Nacional	√	√	√		√	√	√	√	√	√
	Estatal									√	
Disponibilidad de la información	Pública	√	√	√		√	√	√	√	√	√
	Limitada										
Formato	Electrónico										
	Impreso	√	√	√		√	√	√	√	√	√

Fuente: INEGI-INE, 2000.

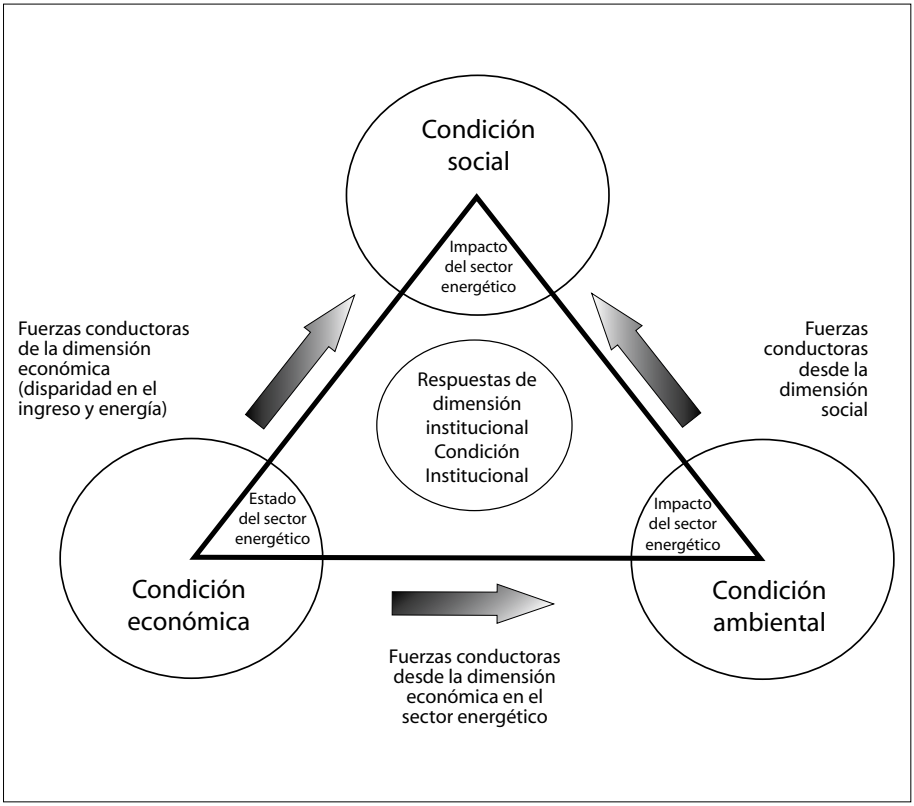


Figura 10. Las 3+1 dimensiones que definen el desarrollo sustentable de la energía (fuente: IAEA-IEA, 2000 y 2001).

acciones de las metas nacionales en materia de energía contempladas en el Programa Nacional del Sector Energía 2001-2006 (Tabla 5).

Indicadores de seguimiento: México 2005

En el marco de la Iniciativa Caribeña y del Caribe para el Desarrollo Sostenible, que surgió como resultado del Foro Ministros de Medio Ambiente de la región durante la Cumbre Mundial de Johannesburgo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) acordó el lanzamiento de un programa de elaboración de indicadores para evaluar el desempeño de los países en

Tabla 5. Indicadores vinculados a políticas y acciones de metas nacionales

Objetivo del sector energético mexicano, acciones relevantes y medidas políticas sobre el ISED (fragmento)			
Asuntos de política energética y objetivos del sector energético mexicano	ISED Centro de IAEA	Acciones de respuesta sobre el indicador objetivo	Medidas políticas sobre el indicador objetivo
I Aspectos socio-económicos			
II Suministro de energía			
III Patrones de producción y consumo de energía			
IV Protección ambiental y políticas de seguridad			

Fuente: SENER/INEGI, 2006.

temas comunes del desarrollo sustentable. Este proyecto significó la discusión y consenso entre los países en torno a las hojas metodológicas de 35 indicadores en temas prioritarios para la región. Como en los otros casos, se llevaron a cabo talleres de discusión conceptual de las hojas metodológicas y de avances en la elaboración de los indicadores.

Para el logro de este proyecto se consideró como estrategia fundamental la necesidad de colaboración entre los ministerios de medio ambiente y los institutos nacionales de estadística, conjuntamente con los organismos regionales e internacionales, entre ellos el PNUMA. Un aspecto central en la evaluación de las metas de desarrollo sustentable a través de los indicadores, fue que éstos estuviesen direccionados –mediante propósitos indicativos– expresamente a metas evaluables cuantitativa o cualitativamente (Tabla 6).

Indicadores de energía y medio ambiente en el transporte de América del Norte

A partir de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, los tres países han establecido acuerdos y mecanismos para armonizar las estadísticas sobre transporte y comercio, conformándose grupos de trabajo en temas específicos. Desde abril de 2002, con motivo del XVI Intercambio de Estadísticas sobre Transporte de América del Norte, se incorporó el tema ambiental en las reuniones

Tabla 6. Indicadores de seguimiento: México 2005

Metas de guía / propósitos indicativos		Indicador	Fuentes globales o regionales	Unidades
Diversidad biológica	**Aumento en la superficie boscosa** Asegurar el manejo sostenible de los recursos forestales de la región, reduciendo significativamente las tasas actuales de reforestación.	Proporción de la superficie cubierta por bosques.[1]	FAO	%
	Territorio bajo áreas protegidas Incrementar significativamente la superficie del territorio regional bajo áreas de protección, considerando en su definición zonas de transición y corredores biológicos.	Porcentaje de áreas protegidas con respecto al territorio total.[1]	WCMC	%

Fuente: SEMARNAT/INEGI, 2005.

rotativas anuales. Desde entonces, y exceptuando 2004, el grupo trilateral de trabajo, cuyo liderazgo está a cargo de México a través del INEGI, ha avanzado en la definición de un conjunto de indicadores sobre energía y medio en el transporte. Por México las instituciones que integran el grupo son: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Secretaría de Energía (SENER) e INEGI.

Hasta 2006, los avances del Grupo de Trabajo México pueden sintetizarse así: *a)* discusión nacional y trilateral para la selección de un conjunto de doce indicadores; *b)* desarrollo de un marco conceptual de referencia sobre el transporte para elaborar los indicadores; *c)* diseño de hojas metodológicas para 11 de 12 indicadores inicialmente seleccionados; *d)* elaboración de un documento sobre planeación estratégica para orientar las acciones a seguir en el tema ambiental relacionado con el transporte, y *e)* construcción de alrededor del 60% de los indicadores propuestos, algunos de ellos ya en difusión en internet y otros en fase final de construcción (etapas A y B, respectivamente) y otros más que están previstos a mediano y largo plazos (Tabla 7).

Tabla 7. Indicadores de energía y medio ambiente en el transporte de América del Norte. Avance de México a 2006

Indicador y estado de elaboración
A) Indicador elaborado
1. Consumo final de energía por sector (transportación, residencial, comercial y público, agricultura e industrial).
2. Consumo final de energía por medio de transporte.
4. Eficiencia de uso de energía de los vehículos nuevos.
7. Emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte (CO_2, N_2O, CH_4).
B) Revisión de indicadores a corto plazo
5-6. Emisiones nacionales de gases por tipo de contaminante en el sector transporte (NO_x, CO, COVNM, SO_2).
8. Concentración de contaminantes en áreas urbanas (calidad del aire).
10. Sistemas de verificación del transporte en autopistas para vehículos con placas federales (taxis, autobuses foráneos, transportación con refrigeración).
C) Revisión de indicadores a mediano y largo plazo
3. Calidad de combustibles por tipo de contaminante y modo de transporte (sulfuros, aromáticos, compost´s, olefin, benzeno, índice de octanaje).
9. Materiales y sustancias peligrosas transportadas por carretera por el secctor transporte.
11. Relación de vehículos anticontaminantes certificados como una proporción de la flota vehicular.
12. Reglas ecológicas oficiales para la regulación de la contaminación del transporte (para vehículos nuevos y para el tráfico).

Fuente: SCT/INEGI, 2006.

Indicadores sobre sustentabilidad ambiental urbana

Con la experiencia de publicaciones sobre estadísticas ambientales a nivel nacional y por zonas metropolitanas y también de indicadores de sustentabilidad, el INEGI y Gobierno del Distrito Federal diseñaron una propuesta de Indicadores sobre Sustentabilidad Ambiental Urbana, que constituye uno de los capítulos de las *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002*. Tal propuesta parte de reconocer la importancia de avanzar en la producción de nueva información a nivel urbano, donde tienen lugar los

procesos más críticos de deterioro ambiental y también de la calidad de vida de la población.

Una base de indicadores de tales características permitirá además atender los compromisos internacionales y las recomendaciones de la ONU: Agenda 21 Local para el Desarrollo Sustentable, Agenda Hábitat, Metas de Desarrollo del Milenio, entre otras (Figura 11).

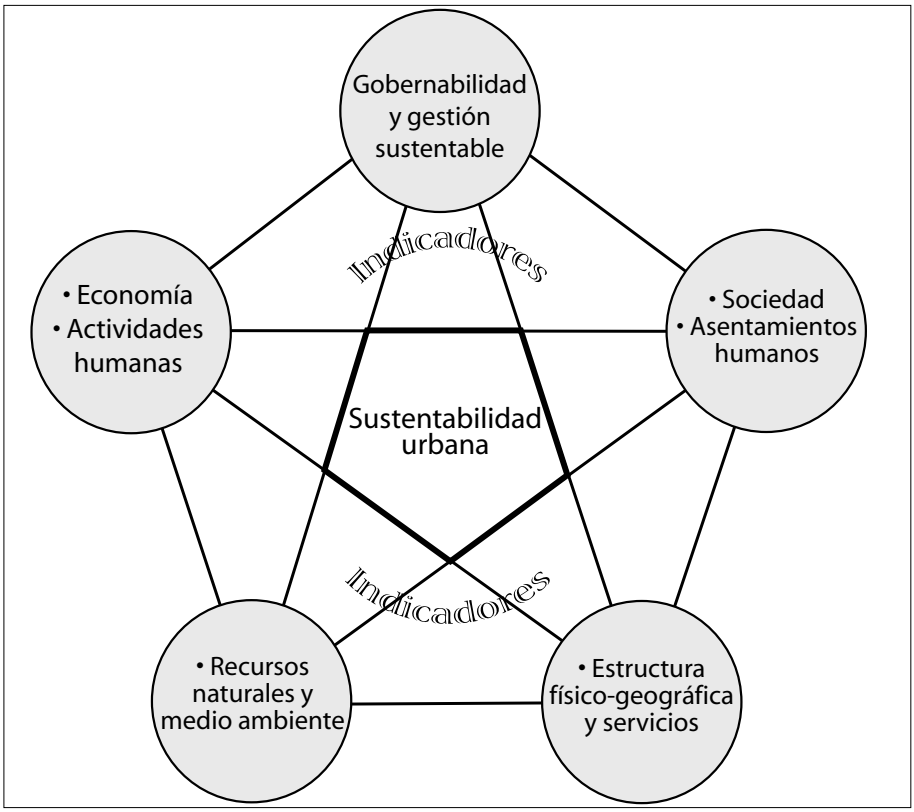


Figura 11. Indicadores sobre sustentabilidad ambiental urbana (fuente: GDF/INEGI, 2005).

Lecciones aprendidas y perspectivas

Sin datos, información y conocimiento suficientes y sin mecanismos interinstitucionales de coordinación para la producción, integración y sistematización de la información ambiental, la administración pública y la sociedad no tienen la capacidad necesaria para identificar los factores y procesos de riesgo a la salud humana y los ecosistemas, tomar las decisiones adecuadas y oportunamente, ni predecir las situaciones de vulnerabilidad emergentes.

Si las grandes transformaciones ecológicas son ahora mucho más rápidas que en el pasado y están mucho más relacionadas entre sí; si los cambios ambientales globales están marginando cada vez más el desarrollo económico y tecnológico y la calidad de vida, con mayor razón a largo plazo se tienen que observar y vigilar los cambios ambientales globales, nacionales y locales. Un reto en las estrategias nacionales es el estudio de los fenómenos ambientales como eje del desarrollo de la información ambiental.

Es fundamental entonces orientar la actividad institucional hacia la adopción de esquemas conceptuales y metodológicos básicos y homogéneos; fortalecer el marco legal e institucional para facilitar el flujo de información de interés público; establecer vías y fórmulas de convergencia entre los productores de información para mejorar, incrementar y difundir las estadísticas e indicadores existentes que conduzcan a elevar la conciencia ambiental ciudadana; facilitar el derecho de éstos a la información y su capacidad para ejercerlo.

Dos hechos que tendrán un impacto trascendental para el desarrollo de la información ambiental de México son: la autonomía del INEGI, que se decretó en 2006 y, asociado con lo anterior, una nueva de Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG) está en proceso de decretarse. El Sistema contará con tres subsistemas nacionales de información: *i)* demográfica y social, *ii)* económica y *iii)* geografía y medio ambiente.

Dos cambios fundamentales que se esperan son: revisión y actualización de la infraestructura conceptual y metodológica que soportan los actuales procesos de generación de información y ampliar la cobertura temática y la periodicidad de la información ambiental a través de una mayor integración de la estadística y la geografía en los sistemas de información.

Agradecimientos

Deseo agradecer a mis compañeros de trabajo que de manera directa o indirecta vean reflejados algunos aspectos u opiniones en este documento. Por supuesto, la responsabilidad del mismo es del autor y tampoco involucra la posición de la institución.

Referencias

EEA (2005), *The European Environment – State and Outlook 2005,* European Environment Agency, Copenhagen.

GDF/INEGI (2005), *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

IAEA-IEA (2000), *Indicators for sustainable energy development*, International Atomic Energy Agency/International Energy Agency, Viena.

IAEA-IEA (2001), *Indicators for sustainable energy development: a collaborative Project*, International Atomic Energy Agency/International Energy Agency, Viena.

INEGI-INE (2000), *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México,* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática e Instituto Nacional de Ecología, México.

INEGI (2002 [2003]), *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática – Gobierno del Distrito Federal, México

OECD (1993), "OECD core set of indicators for environmental performance reviews", *Environment Monographs*, no. 83, París.

OECD (2001), *OECD Environmental Strategy for the first decade of the 21 st Century*, adopted by OECD Environment ministres, ENV/EPOC (2000), 13/REV4, París, 16 May.

ONU (1985), "Un esquema para la elaboración de estadísticas del medio ambiente", *Informes Estadísticos*, Serie M, núm. 78, Organización de las Naciones Unidas, Nueva Cork.

ONU (1992), "Conceptos y métodos de las estadísticas del medio ambiente: estadísticas del medio ambiente natural", *Informe Técnico*, Serie F, núm. 57, Naciones Unidas, Nueva York, p. 152.

ONU (1996), *Indicadores de desarrollo sustentable: marco y metodologías*, Comisión de Desarrollo Sustentable, Nueva York, agosto.

SCT/INEGI (2006), *North American Transportation Statistics Interchange*, Transportation Energy and Environment Indicators Working Group, XX Meeting, Washington, 19-21 June.

SEMARNAT (2006), *Informe sobre la situación del medio ambiente en México Compendio de Estadísticas Ambientales 2005,* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

SEMARNAT/INEGI (2005), *Indicadores de seguimiento: México 2005*, Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible, PNUMA-PNUD-SEMARNAT-INEGI, México.

SENER/INEGI (2006), *Indicators for sustainable energy development in Mexico*, *2006*, Nueva York (2007).

UNO (1987), "Report of the World Commission on Environment and Development Note by the Secretary-General", United Nations Organization. Our Common Future, 42nd session, New York, A/42/427, 4 August.

UNO (1996), *Indicators of sustainable development: framework and methodologies*, United Nations Organization, New York, August.

Indicadores de desempeño para el ordenamiento ecológico territorial (OET) a nivel local: experiencia en la construcción de indicadores para dos municipios del país

Gerardo Jesús Negrete Fernández
Instituto Nacional de Ecología
Subdirección de Ordenamiento Ecológico General del Territorio y Local

Diego Reygadas Prado
Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica A.C.

Introducción

Debido a la escasez de satisfactores para las poblaciones y su desigual distribución dentro de cada una de éstas, el panorama global que a través de muchos años se ha venido conformando, ha dejado de manifiesto la crisis de la sociedad, que es a su vez la crisis del desarrollo. Ésta se debe, entre otras cosas, a los desequilibrios entre la sociedad, la economía y el ambiente, lo cual a su vez es el resultado de varias décadas en las cuales la instrumentación de modelos de desarrollo se establecía privilegiando alguno de estos tres aspectos, e incorporándose los otros dos sólo como complemento y sin considerar la repercusión que en ellos se provoca.

En ese sentido, hace más de tres décadas surgió el concepto de "sustentable", con el cual se busca que el desarrollo siempre considere la necesidad de incrementar el equilibrio entre crecimiento social, crecimiento económico y mantenimiento del capital natural. Tal principio se basa en el acuerdo de que "no se puede asegurar la sustentabilidad si las prácticas políticas de desarrollo no atienden a consideraciones tales como cambios en el acceso a recursos naturales y a la distribución de los costos y beneficios", lo cual ha quedado claramente establecido en uno de los resultados de la conferencia de Río (Mallen y García, 2000).

Dentro de la visión latinoamericana "el objetivo sustentable, es el mejoramiento de la calidad de vida "(Comisión para el Desarrollo y Medio Ambiente

de América Latina y el Caribe, 1991), sin que por ello se descuiden los efectos en la economía y los recursos naturales.

La sustentabilidad es un concepto aplicable a cualquier esfera de la actividad humana, y por ende útil a diversos propósitos, aun para aquéllos que actúan en contra del principio central de la continuidad de la vida en nuestro planeta.

Hoy en día, el concepto es aplicado en gran número de discursos y propuestas políticas, entre ambientalistas, académicos, comunitarios y laborales, de tal modo que su ausencia podría significar un riesgo, no importando si en el discurso o propuesta se considera implícito, sobre todo, si se considera que por sí solo el concepto, en la vida política y en general en cualquier discurso, aun si se incluye explícitamente, presenta una alta probabilidad de ser empleado mal y con mucha "ligereza", debido a su naturaleza amplia e integradora.

En conclusión, pese a ser todavía un concepto relativamente abstracto, lo sustentable se ha aceptado como la más viable solución a la crisis, aunque todavía se mantenga como un paradigma en las esferas política y académica.

Sea de la manera que sea, una moda o un concepto con mucho sentido, la sustentabilidad es ahora la dirección hacia la cual hemos decidido caminar para reducir la crisis, y si el problema de la crisis lo enfocamos hacia un problema que tiene su origen en la necesidad de los seres humanos por obtener satisfactores, y que en la actualidad son escasos o están mal distribuidos, las preguntas que tendríamos que hacernos para actuar son las siguientes: ¿cuál es la situación actual de los satisfactores que se relacionan con las necesidades de la población?, ¿cuáles son las causas de esa situación?, y ¿cuáles son las posibles alternativas para reducir el problema, en caso de tenerlo? Una vez que se tiene la posibilidad de responder a las anteriores preguntas, entonces se tendrán que instrumentar acciones de mejora, y posteriormente instrumentar para evaluar los resultados en el corto, mediano y largo plazo, para reorientar si es necesario, o para continuar por el buen camino.

El ordenamiento ecológico y territorial (OET), como instrumento de planeación, por su visión sistémica e integral, ha mostrado ser útil en el reconocimiento de los problemas que afectan a la población y al territorio, permitiendo obtener como resultado, un modelo de consenso entre los usuarios, poseedores y administradores del territorio en cuestión, y por ende un modelo de respuesta a las interrogantes antes mencionadas. Dicho modelo se utiliza para la gestión y aplicación de acciones en el corto, mediano y largo plazo, con posibilidades de adecuación o mejora durante el tiempo que se instrumenta. Todo ello se establece en un marco integral que permite mejorar el equilibrio entre el desarrollo social y

el crecimiento económico, sin comprometer el uso actual del capital natural que a su vez es la herencia para las generaciones futuras.

Uno de los principios con los cuales se construye y aplica el ordenamiento ecológico y territorial es el "participativo", el cual implica que durante todo el proceso, los actores relevantes que viven y participan activamente en el territorio, junto con aquéllos, que aunque no viven en el territorio, también participan de las decisiones y acciones, se construye un "diálogo de saberes" con el cual se propicia la maximización del consenso y la minimización del conflicto por el uso del territorio.

La planeación participativa, al igual que el OET, ha venido aplicándose con mayor recurrencia desde la década de los setenta, y en la actualidad existe un gran número de herramientas probadas y efectivas que, vinculadas con el OET, están dando muy buenos resultados. Sin embargo, uno de los campos del OET en los que no se ha trabajado lo suficiente, es la evaluación y seguimiento en la etapa de instrumentación, por lo cual se han tenido que generar experiencias en ese sentido, razón que da origen a este trabajo.

Los objetivos de este trabajo se centraron en conocer, en el contexto de dos ejercicios de trabajo teórico-prácticos, *a)* la experiencia existente en relación con la construcción y el manejo de indicadores para dar seguimiento a procesos de sustentabilidad; y *b)* la toma de decisiones en procesos participativos que aseguren la apropiación del trabajo y la continuidad del mismo por parte de los representantes locales que intervienen en la aplicación y seguimiento del ordenamiento; a partir de los objetivos se estableció como meta conformar un primer paquete de indicadores para el seguimiento de la instrumentación de dos Programas de Ordenamientos Ecológicos y Territorial, ya aprobados por cabildo municipal.

Una de las metas a largo plazo es que a partir de los conocimientos adquiridos con los dos ejercicios, en los cuales se elaboraron indicadores de evaluación para la etapa de seguimiento del ordenamiento ecológico, se proponga y aplique el método, para mostrar el uso de algunas herramientas útiles que faciliten el camino de todos aquellos que están en procesos en donde todavía no se cuenta con un plan de evaluación y seguimiento para su OET.

Los pasos propuestos para el trabajo

1. Seleccionar dos municipios con OET ya aprobados por cabildo, para la aplicación de la investigación.

2. Realizar una revisión exhaustiva de la bibliografía más representativa sobre la elaboración y aplicación de indicadores para el desarrollo sustentable.
3. Documentar las experiencias en la SEMARNAT en relación con la construcción y aplicación de indicadores para la evaluación y el seguimiento del OET.
4. Analizar la relación entre indicadores de desarrollo sustentable e indicadores para el OET.
5. Seleccionar aquellos indicadores de sustentabilidad que se relacionen con el OET.

Realizar cuatro talleres de planeación participativa, dos en cada municipio, con la finalidad de obtener o lograr: *a)* la experiencia en la construcción de un paquete de indicadores para la evaluación y el monitoreo del OET, y *b)* la apropiación del método para la elaboración de indicadores, y al mismo tiempo despertar el interés de la gente por realizar la evaluación y el monitoreo de los mismos.

Desarrollo y resultados, primera parte. Revisión teórico conceptual

El ordenamiento ecológico y territorial en el ámbito local-municipal ha sido poco aplicado en el país, y son todavía menos los municipios que han llegado a la aprobación en cabildo y publicación de su programa en el periódico oficial del estado; por lo tanto, los requisitos para la elección de los dos municipios fueron mínimos; *a)* contar con la aprobación de su programa por parte del cabildo, y *b)* que los consultores que apoyaron la realización del programa sigan vinculados en la etapa de instrumentación de acciones. Se eligió a los municipios de Catazajá, en el estado de Chiapas, y de Rosario Tesopaco en Sonora, porque además de ser los únicos que reunían los requisitos, habían tenido el apoyo técnico y financiero del INE. Una vez elegidos los municipios, se realizó la investigación documental, enfatizando el propósito de revisar las experiencias institucionales relacionadas directamente con el INE, sobre la generación o empleo de indicadores en México. Para ello se estableció contacto con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Dirección de Análisis e Indicadores Ambientales de la SEMARNAT.

La CONANP cuenta con dos experiencias; una enfocada a indicadores para monitoreo y evaluación de la gestión de la Comisión llamada "Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación" (SIMEC) y una segunda

orientada al monitoreo y evaluación de los Programas de Desarrollo Regional Sustentable (PRODERS) desde una perspectiva participativa, denominado "Sistema de Monitoreo y Evaluación Participativa" (SIMEP).[1]

El SIMEC tiene como objetivo establecer un sistema de indicadores biológicos, geográficos, sociales y económicos que permitan analizar la efectividad e impacto en la aplicación de políticas públicas en las Regiones Prioritarias para la Conservación, y está conformado por 53 indicadores (CONANP, 2006).

El SIMEP surge como parte de una estrategia de fortalecimiento, difusión y gestión de los Programas de Desarrollo Regional Sustentable (PRODERS). Se desarrolló a partir de 1997 planteándose como objetivo generar modelos "piloto" para establecer sistemas de monitoreo y evaluación para las organizaciones sociales y otras secretarías que colaboran en las regiones prioritarias, y consta de 34 indicadores (CNANP, 2004). En la Dirección de análisis e indicadores ambientales de la SEMARNAT se cuenta con los indicadores básicos de desempeño, que compila a más de 130 indicadores en ocho temas generales (SEMARNAT, 2005).

Posteriormente se sintetizó la información relacionada con los indicadores de sustentabilidad, en la cual ha quedado de manifiesto que los indicadores se asocian con el de criterio[2] para dar sentido y apoyar la direccionalidad de los indicadores. Los indicadores son formas de medir o describir un criterio, y asociados le dan significado al criterio. Éstos pueden medirse de manera cuantitativa, cualitativa o descriptiva, y siempre de manera periódica, para dar idea de la dirección del cambio.

Los indicadores son variables que permiten describir y monitorear procesos, estados y tendencias de los sistemas de producción a varias escalas jerárquicas: transnacional, nacional, regional, sistema de producción y nivel de cultivo (Zinck *et al.*, 2001).

Los indicadores cuantitativos proporcionan información principalmente sobre las condiciones del territorio y sus funciones, y sobre los valores y beneficios asociados con los bienes y servicios que producen los recursos naturales.

Los indicadores descriptivos proveen información sobre la existencia de instrumentos de política acerca de los recursos naturales y sobre la magnitud en que estos instrumentos apoyan el desarrollo sustentable. Conjuntamente a los indica-

---

[1] Existen tres referencias para el SIMEP; un manual comunitario, una guía metodológica y un documento general del sistema de monitoreo. Los tres publicados por la SEMARNAT-CONANP en 2004.

[2] Por criterio se puede entender aquellos elementos o principios esenciales para evaluar si la sustentabilidad se está logrando (FAO, 2000).

dores cualitativos, se necesita esta información para interpretar si ha ocurrido un progreso hacia la sustentabilidad y cómo se ha realizado.

Derivado de esta síntesis, se considera que los indicadores serán útiles para el contexto municipal en tanto cumplan con los siguientes atributos:

- Puedan tener representación espacial y temporal.
- Sus requerimientos de información sean precisos y estén disponibles.
- Existan formas sencillas y claras para su medición.
- Posibilitan la explicación del criterio a partir del cual se generan.
- Permitan establecer puntos o marcos de referencia.
- Capacidad de actualización periódica y monitoreo.
- Que muestren o demuestren tendencias.
- Que su costo sea razonable.
- Que puedan ser generados o actualizados por los poseedores de los recursos.
- Que permitan establecer reportes o dar idea de la estabilidad o disminución de la calidad del ecosistema y de los recursos naturales.
- Que tengan congruencia con los fundamentos conceptuales y metodológicos de las evaluaciones de sustentabilidad.
- Que tengan fundamento científico, teórico o sentido común.
- Que tengan alcance estadístico adecuado a escala de trabajo.
- Que posibiliten su manejo dentro de un contexto de análisis integrado a diversas escalas, en sentido horizontal y vertical.

De igual manera que para el concepto de indicadores, los criterios de sustentabilidad presentan una amplia diversidad en su definición, sin embargo, el significado básico es uniforme como se observa en las definiciones presentadas a continuación:

1. Los criterios definen los elementos o principios esenciales para determinar si la sostenibilidad se está logrando; consideran el papel productivo, protector y social del territorio y sus ecosistemas. Cada criterio se define por medio de indicadores cuantitativos y cualitativos (FAO, 2000; FAO, PNUMA, OIMT, CIFOR y IUFRO, 2000).
2. Representan una categoría de condiciones o procesos por los cuales se puede evaluar el manejo territorial sostenible. Se caracterizan por un conjunto de indicadores relacionados que son monitoreados periódicamente con el fin de determinar los cambios.

De hecho, en el capítulo 40 de la Agenda 21, se hace un llamado a las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para desarrollar e identificar indicadores de sustentabilidad que puedan proveer bases sólidas para la toma de decisiones a todos los niveles.

Tras la Conferencia de Río, una de las medidas más importantes y uniformes adoptadas por los países (y que todavía son utilizadas para evaluar el éxito de los compromisos y dar sentido al concepto del desarrollo sostenible) es la definición de criterios e indicadores para el manejo forestal sustentable (Wijewardana *et al*., 1997).

Algunas de las experiencias en la determinación de criterios e indicadores para medir la sustentabilidad, desarrolladas en México, que se consideran relevantes en el contexto y objetivos del OET son las siguientes.

En primer término es relevante mencionar los criterios e indicadores generados por el INE-INEGI (2000), por ser estas las instancias oficiales encargadas de ello como parte del compromiso contraído por México en la Cumbre de la Tierra y ratificado en el Proceso de Montreal.

En el 2001 el Gobierno del Estado de Jalisco, en coordinación con la Universidad Autónoma de Guadalajara (Gobierno del Estado de Jalisco y U. de G. 2001), generaron 37 indicadores (índices de acuerdo con terminología empleada en este trabajo) integrados dentro de cinco criterios, todos ellos de aplicación a nivel municipal y dentro del marco del Ordenamiento Ecológico del Estado de Jalisco.

El Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales en México (PROCYMAF) elaboró en el 2000 un reporte sobre Criterios e Indicadores de Desempeño para Programas de Manejo Forestal Sustentable,[3] en el cual se retoman los conceptos clásicos de rendimiento sostenido de los bosques y sus variables de medición tradicionales como lo es la posibilidad de corta, el incremento medio anual, la calidad de sitio, etc., así como la tasa interna de retorno entre otros.

El Gobierno del Estado de Querétaro desarrolló en el 2002 un Sistema de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad (Gobierno del Estado de Querétaro, 2002), en el que se consideran 104 indicadores integrados en los rubros de bosques (forestal), agua, residuos, aire, urbanización, suelos, agricultura y biodiversidad. Este trabajo emplea el enfoque de Presión-Estado-Respuesta propuesto por Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED).

---

[3] PROCYMAF (2000), *Criterios e Indicadores de Desempeño para Programas de Manejo Forestal Sustentable*.

Un importante avance entre el discurso y la generación de datos o valores para los criterios e indicadores es el trabajo de Masera y colaboradores (1999), quienes propusieron, con base en la teoría reportada por Conway (1985), la "Metodología para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad" (MESMIS); en ella se proponen como atributos de sustentabilidad a la productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, equidad, adaptabilidad y autogestión. A diferencia de la mayoría de los trabajos sobre criterios e indicadores, esta propuesta aporta un método de evaluación de los resultados o valores obtenidos para los indicadores considerados.

Otro de los estudios desarrollados en nuestro país es el elaborado por el Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPESDES), en el que se establecen 52 indicadores (variables) para hacer una comparación de la sustentabilidad ambiental entre entidades federativas. Este trabajo emplea el mismo método de evaluación que los trabajos elaborados bajo el enfoque del MESMIS.

Una contribución más sobre indicadores de sustentabilidad es la desarrollada por Velázquez (1999) en la que propone un indicador de la rentabilidad agrícola medido por la tasa de descuento propuesto a su vez por De Janvry y colaboradores en 1993 y otro denominado índice de sustentabilidad o resiliencia, el cual mide o estima el riego sobre el uso de los recursos naturales en una localidad dada. Este trabajo resulta interesante al proponer métodos de evaluación soportados en la teoría económica ajustados a la concepción actual de la sustentabilidad.

Un enfoque diferente y "contradictorio" es el propuesto por Esparza (1997), pues las medidas se desarrollan con la finalidad de valorar la no sustentabilidad del sistema, sin que este enfoque como lo indica su autor no asegura la perpetuidad de la producción de los recursos como la premisa básica de la sustentabilidad. Sin embargo, garantiza la detección a tiempo de los cambios negativos que la ponen en riesgo. Este trabajo emplea el concepto económico de números índices para evaluar la productividad total de los factores en un área forestal en la que los silvicultores o administradores saben cual es la condición (composición) necesaria para su producción sostenida.

A partir de la revisión teórico-metodológica sobre el estado del arte en indicadores de sustentabilidad, y su relación con el OET, se conformó una propuesta de indicadores "base" para evaluar y dar seguimiento a los programas de OET, la cual se desarrolló en cuatro etapas.

La primera etapa consiste en generar un listado inicial producto del análisis de experiencias sobre la generación de indicadores, acotada por los objetivos del

OET. Los indicadores se caracterizaron de forma inicial de acuerdo con su posible escala de aplicación, para seleccionar aquéllos que aplican a nivel municipal o local y posteriormente caracterizar éstos por sistema, subsistema y atributo de la sustentabilidad con el cual se relacionan.

La segunda etapa corresponde a una primera depuración o segunda selección considerando aquéllos que cumplan mayormente las características deseables de un indicador (de acuerdo con las características deseables propuestas para los indicadores de OET). De éstos se eligen aquéllos que se relacionan con los temas o asuntos obtenidos del diagnóstico del OET. Por último, para esta etapa, se elabora una ficha resumen con los datos hasta este punto obtenidos para cada indicador (Anexo 1), que servirán como base para complementar el análisis de la tercera etapa.

En la tercera etapa se obtiene una selección adicional de indicadores a partir de análisis desarrollados en torno a los resultados del diagnóstico que permanezcan vigentes, y a los programas derivados de modelo de ordenamiento, siempre y cuando estos últimos se encuentren en marcha y con avances posibles de evaluar. El análisis se efectuó mediante entrevistas individuales y talleres o reuniones donde participa un grupo evaluador interdisciplinario, integrado por el responsable técnico de la evaluación y seguimiento del programa del OET, personal técnico asociado con el programa de OET e integrantes del municipio y la(s) localidad(es) donde se aplicarán y medirán los indicadores. Estas entrevistas y talleres se enfocarán a obtener indicadores a partir de los asuntos o problemas que los integrantes del grupo evaluador perciben en el municipio o la(s) localidad(es). En este punto no se hará del conocimiento de los integrantes del grupo evaluador los indicadores obtenidos hasta la segunda etapa, a fin de no dirigir o desviar su percepción de los asuntos o problemas.

Una vez obtenidos los indicadores a partir de los asuntos propuestos por los evaluadores, se seleccionaron aquéllos que de la lista de indicadores obtenidos en la segunda etapa no se hubieran mencionado durante las entrevistas o el taller, y que mantengan relación con los asuntos o problemas y se les presentarán a fin de que consideren su empleo, y de esta forma complementar el listado de indicadores.

Durante la cuarta etapa se promueve e incentiva a los participantes para que se apropien de estos resultados e inicien la medición o verificación de estos indicadores a fin de poner en marcha el seguimiento de su OET. Esta actividad se soporta en los representantes de las comunidades y en las organizaciones locales (ganaderas, agrícolas, pesqueras, etc.), sin faltar aquéllas donde participan activamente las mujeres, así como en la estructura organizativa del propio municipio

en donde se recomienda que las secretarías de Desarrollo y Ecología deben participar activamente.

Desarrollo y resultados, segunda parte. Construcción participativa de indicadores

La lista que a continuación se presenta considera la aplicación de las dos primeras etapas durante las cuales se revisaron 87 referencias bibliográficas seleccionadas acorde a los objetivos de la investigación, de las cuales se obtuvieron alrededor de 1 500 indicadores. El listado que a continuación se muestra constituye una guía general que deberá ajustarse a las condiciones particulares de cada municipio, localidad o comunidad durante la aplicación de la tercera etapa antes descrita.

Indicadores del Sistema Ambiental

1. Porcentaje de áreas con erosión del suelo.
2. Fragmentación de los tipos de bosque.
3. Superficie de áreas protegidas.
4. Superficie de los sistema de producción.
5. Áreas por plagas y enfermedades en el bosque.
6. Superficie ocupada por unidades de manejo y aprovechamiento de vida silvestre (UMA's).
7. Número de rellenos sanitarios que cumplen la normatividad.
8. Reciclado y reutilización de basura.
9. Gastos en el manejo de la basura.
10. Uso de fertilizantes.
11. Uso de pesticidas en agricultura.
12. Superficie de cambio de uso del suelo.
13. Tratamiento de aguas negras.
14. Superficie con vegetación primaria o secundaria destinada por la comunidad para protección, conservación y restauración.
15. Superficie con suelos fértiles.
16. Superficie con suelos pedregosos.
17. Superficie con suelos inundables.
18. Superficie con suelos compactados.

19. Superficie dedicada a labores de protección, conservación y restauración de suelos.
20. Disponibilidad de agua superficial.
21. Disponibilidad de agua subterránea.
22. Flora y fauna (total y con estatus).
23. Contaminación de agua superficial.
24. Contaminación de agua subterránea.
25. Superficie dedicada a la protección, conservación y restauración de cuerpos de agua y mantos freáticos.

Indicadores del Sistema Social

1. Tipo, estructura y permanencia de las organizaciones locales.
2. Índices de calidad de vida (índice de marginación de CONAPO).
3. Mecanismos de resolución de conflictos.
4. Reglamentos internos de uso de los recursos naturales.
5. Productores por sistema.
6. Demanda de fuerza de trabajo.
7. Vulnerabilidad por servicios en la vivienda (sin drenaje, sin agua entubada, sin electricidad).
8. Limitantes para la educación de niveles medio superior y profesional técnico.
9. Superficie por tipo de propiedad (privada, ejidal y comunal).
10. Tasa neta de estudiantes de secundaria.
11. Tasa neta de estudiantes de primaria.
12. Densidad de población.
13. Tasa de migración neta.
14. Tasa de crecimiento poblacional.
15. Índice general de pobreza.
16. Número de instalaciones de atención para la salud y tipo de las mismas.
17. Índice de inequidad de GINI.

Indicadores del Sistema Económico

1. Porcentaje del gasto en alimentos cubierto con la producción propia.
2. Acceso a créditos y seguros.

3. Dependencia de recursos externos.
4. Disponibilidad de insumos.
5. Ingreso per cápita.
6. Superficie actual por actividad productiva.
7. Superficie potencial por actividad productiva.
8. Disponibilidad de mano de obra por sector y actividad productiva.
9. Inversión antes o después de decretado el OET.
10. Inversión por sistema, subsistema y sector.
11. Tasa de desempleo.

Resultado del trabajo en el municipio de Catazajá, Chiapas

El trabajo de campo, realizado en Catazajá, se planteó a partir de la elaboración de dos visitas de campo. Durante la primera visita se desarrolló primeramente una reunión con autoridades municipales (Presidente, Regidores, Sindico, etc.), con la finalidad de captar la visión institucional respecto a los asuntos o problemas provenientes de los resultados del Diagnóstico del OET y del Modelo de OET ya decretado. Posteriormente se aplicaron entrevistas; en un inicio a través de entrevistas cerradas (con cuestionario), y después a través de entrevistas abiertas dirigidas, aplicadas tanto a la población en general como a informantes clave.

Como resultado de esta primera visita se obtuvieron 32 asuntos que se relacionan con el OET del municipio. Éstos fueron calificados mediante una escala ordinal para captar su importancia y así establecer la prioridad en su atención a través de la medición de los indicadores asociados con ellos. Los indicadores que la gente mencionó para cada asunto o problema, representan el 30% de los indicadores propuestos en la etapa teórica, resultado de la revisión y análisis bibliográfico.

De los 32 asuntos e indicadores, obtenidos en la primera visita, resultaron seleccionados los ocho que se muestran en la Tabla 1, los cuales tuvieron el consenso de ser los prioritarios para iniciar la evaluación y el monitoreo.

La segunda visita consistió en un taller en el que se retomaron los resultados previos para su validación, reconsiderando un máximo de diez o doce asuntos y/o problemas con la finalidad de facilitar su calificación, pues durante la primera visita se constató que a mayor número de asuntos e indicadores resulta más difícil su evaluación.

Este proceso originó cambios en los asuntos y/o problemas, así como en la prioridad. Cada persona emitió su voto considerando el nivel de importancia

Tabla 1. Asuntos e indicadores cualitativos prioritarios propuestos durante la primera visita para monitorear el Programa de OET del Municipio de Catazajá, Chiapas

Asunto	Indicador(es)	Prioridad
Contaminación de la laguna.	Contaminación de agua superficial.	1
Azolve de la laguna.	Nivel de azolve de la laguna.	2
Falta de tratamiento de aguas negras (drenaje).	Tratamiento de aguas negras.	3
Cambio de uso del suelo (deforestación).	Cambio de uso del suelo. (deforestación, alteración, recuperación, antropización).	4
Baja productividad agrícola.	Rendimiento anual de principales cultivos.	5
Educación ambiental.	Reciclado y reutilización de basura.	6
Pobreza (bajos ingresos).	Índice general de pobreza.	7
Baja productividad pesquera (sobreexplotación del pescado, falta de un ordenamiento pesquero).	Cantidad de pescado obtenido en la laguna.	8

Nota: los asuntos e indicador seleccionados fueron ordenados por la gente con base en el nivel de prioridad que le dieron. En la columna de prioridad se califican del 1 al 8, de mayor a menor importancia.

de cada asunto y/o problema. Para obtener la calificación final se multiplicó el número de votos de cada categoría por el valor de importancia de la categoría que se muestra a continuación: MUI (3), IMP (2), MOI (1) POI (0), por último se sumó el resultado de todas las categorías para cada asunto y/o problema, el cual se representa en la columna de total. Finalmente se estableció la prioridad, otorgándole el número 1 a la mayor prioridad y el 7 a la menor, tal como se observa en la Tabla 2.

Por último, dada la dificultad que representó desde la primera visita para los habitantes de las comunidades el concepto de indicador, se les solicitó como una alternativa para determinar los indicadores, que propusieran formas de evidenciar los asuntos y/o problemas, o pruebas relacionadas con éstos, obteniéndose así las mostradas en la Tabla 3.

Cabe señalar que esta forma de determinar los indicadores resultó más clara para los participantes, aunque quedaron pendientes las evidencias o pruebas de algunos de los asuntos y su frecuencia de medición o verificación, para de esta manera iniciar su seguimiento en este municipio.

Tabla 2. Asuntos y/o problemas prioritarios propuestos durante la segunda visita para monitorear el Programa de OET del Municipio de Catazajá, Chiapas

Asunto y/o problema	Respuestas por orden de importancia*				Total de respuestas	Prioridad
	MUI	IMP	MOI	POI		
Falta de personal de salud y medicamentos	19				57	1
Falta de drenaje	19				57	1
Falta de agua potable	19				57	1
Educación ambiental	19				57	1
Azolve de la laguna	18	1			56	2
Baja productividad agrícola	17	2			55	3
Deforestación	17	2			55	3
Baja productividad pesquera	15	4			53	4
Contaminación de la laguna	13	6			51	5
Falta de caminos adecuados	4	15			42	6
Falta de pozos para riego	3	10	6		35	7

*MUI=muy importante; IMP=importante; MOI=moderadamente importante; POI=poco importante.

Resultado del trabajo en el municipio de Rosario Tesopaco, Sonora

Esta experiencia se inició meses después de haber obtenido los primeros resultados en el municipio de Catazajá, y por esa razón se aplicaron herramientas diferentes que, como hipótesis, se propusieron para mejorar la obtención y apropiación de los indicadores por parte de la gente del municipio que participó en la experiencia.

El proceso consistió en dos talleres, en los cuales se aplicaron herramientas de grupo para generar: *a)* mapas de distribución de atributos del territorio significativos para la vida del municipio, y *b)* para el reconocimiento de los problemas asociados con los atributos y su ubicación. También en trabajo de grupos se elaboraron listas de problemas y asuntos (que son las acciones que afectan los atributos) que deberán ser evaluados y monitoreados para conocer su efectividad como acciones para avanzar positivamente de acuerdo con lo planteado en el OET, y se reconocieron los indicadores necesarios para la evaluación y el seguimiento de los asuntos. En plenaria se sistematizaron los trabajos de grupo, se consensuaron las

Tabla 3. Evidencia o prueba: propuestas para reconocer los asuntos y/o problemas prioritarios obtenidos durante la segunda visita (taller) en el Municipio de Catazajá, Chiapas

Asunto y/o problema	Evidencia o prueba
Falta de personal de salud y medicamentos	• Encuesta a los habitantes sobre su asistencia al médico. • Inventario de medicamentos conseguidos.
Falta de drenaje	• Registro de enfermedades gastrointestinales. • Conteo de caños que desembocan en la laguna. • Número de viviendas con fosas sépticas por comunidad.
Falta de agua potable	• Medir el nivel de agua y tomar fotografías del pozo (agua fría).
Educación ambiental	• Fotografías del basurero. Abundancia de moscas y zopilotes. • Número de solicitudes de vehículo recolector de basura.

listas y se priorizaron los asuntos e indicadores que deberán aplicarse como inicio del trabajo de evaluación y monitoreo.

Los mapas se trabajaron a partir del modelo de ordenamiento ecológico y territorial, el cual es la imagen cartográfica obtenida y deseada del futuro del territorio. En trabajo de grupos –de cuatro a seis personas cada uno–, se identificaron y ubicaron espacialmente los atributos físico-bióticos y sociales del territorio, los cuales están asociados a las actividades de la población. Este ejercicio permitió reconocer las potencialidades del municipio y posteriormente la problemática asociada al uso del territorio, particularmente de los recursos naturales. Por ejemplo, se mencionó como atributo la existencia de palma, que tiene gran importancia para la gente del municipio porque con ella se construyen palapas y se hacen trabajos artesanales.

Posteriormente, a través de los mismos equipos de trabajo, se elaboraron los listados de problemas asociados a los atributos, y con ayuda de los mapas se ubicaron en el territorio. Siguiendo el ejemplo anterior, se mencionó como problema la reducción en la cantidad de palma, lo cual se debe al aumento en la extracción y el deterioro del suelo.

La razón por la cual se ubicaron los problemas en el mapa es porque no en todas las áreas en donde hay palma se presenta el problema, o si se presenta, probablemente no es en la misma magnitud. Por último, en plenaria se definieron los asuntos e indicadores asociados a los problemas; es decir, en el ejemplo el problema es la reducción en la cantidad de la palma, los asuntos son la extracción y el deterioro del suelo; y los indicadores son la reducción de palma y el suelo erosionado.

Los primeros resultados reportan 19 atributos y 29 problemas, cada uno de estos problemas fue relacionado con uno o más atributos, éstos corresponden a las letras dentro del paréntesis de la columna de problemas y relación con el atributo, y en el caso de que no se tenga alguna letra es porque no se relacionó con ningún atributo del territorio, tal y como se muestra en el ejemplo de la Tabla 4.

Con trabajo de grupo y después en plenaria se elaboró la lista de los 38 posibles indicadores. Cada uno de los problemas y sus indicadores respectivos se sometieron a una evaluación en plenaria y a través del voto personal, para posteriormente obtener la lista definitiva con su prioridad o importancia (Tabla 5).

En el segundo taller se trabajó en grupos de tres o cuatro personas para revisar y, en su caso, redefinir y validar los asuntos e indicadores. En trabajo de grupos, se les solicitó a los asistentes que con base en la información previa elaborarán un listado de los diez asuntos y/o problemas que consideraran más relevantes en su comunidad y/o en el municipio.

El análisis e integración de esta información dio origen a once asuntos y/o problemas siguientes:

1. Problemas de Mercado (1)
2. Falta de Empleo (4)
3. Alcoholismo (5)
4. Permiso para explotar los recursos maderables (7)
5. Falta de registro para establecer ranchos cinegéticos (9)
6. Falta de organización y capacitación (10)
7. Falta de apoyo crediticio (11)
8. Burocracia (12)
9. Falta de recursos económicos (14)
10. Malas condiciones de las vías terrestres (17)
11. Fortalecer la actividad pecuaria (22)

Debido a que algunos de los asuntos y/o problemas obtuvieron la misma votación de relevancia, el número ascendió a un total de once.

Posteriormente, para validar la prioridad de los indicadores, y con base en la experiencia del primer taller, se consideró que sería más fácil calificar los asuntos que los indicadores asociados a éstos, dado que en principio resulta más sencillo para los asistentes comprender el concepto de asunto y/o problema que el de indicador, además que un número menor de elementos a calificar facilita su evaluación. Así, mediante la calificación individualizada de cada nivel de importancia,

Tabla 4. Atributos y problemas en el territorio Municipal de Rosario Tesopaco, Sonora

Atributo del territorio	Problemas y relación con el atributo
a) Aprovechamiento de la palma en la construcción de palapas y trabajos artesanales. b) Belleza escénica. c) Terrenos agrícolas. d) Caza de animales. e) Trabajos artesanales. f) Mucha vegetación. g) El arroyo de La Batea. h) Producción de bacanora. i) Minería. j) Venados, jabalí, codorniz, palomas y guajolotes silvestres. k) Agricultura y ganadería. l) Aprovechar a la misma gente en la organización. m) Aprovechamiento del maguey. n) Producción de chiltepin, madera de palo colorado, guayabo. o) Plantación de nopal y maguey. p) Áreas turísticas. q) Aprovechar agua para riego. r) Madera para proyectos productivos. s) Bosques de encino.	1. Problemas de mercado (a, d, h, k, n) 2. Falta de acceso, caminos (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s) 3. Asistencia médica (i, l, b) 4. Falta de generación de empleo (a, c, d, e, h, i, k, m, n, o, p, r) 5. Alcoholismo 6. Falta de permisos para el uso de la palma (actividad clandestina) (a, d, l) 7. Permiso para explotar recursos maderables (a,b, e, f, r, s) 8. Alcantarillado (p) 9. Faltan registros para establecer ranchos cinegéticos (a, b, d, f, g, j) 10. Falta de organización y capacitación ( ) 11. Falta de apoyos crediticios ( ) 12. (Burocracia) ( ) 13. Drogadicción ( ) 14. Faltan recursos económicos ( ) 15. Falta relleno sanitario ( ) 16. Falta de gestión ( ) 17. Malas condiciones en la vías terrestres (p) 18. Faltan espacios recreativos (b, g, s) 19. Migración de jóvenes al interior del país y Estados Unidos ( ) 20. Orientación en la droga ( ) 21. Tratamiento de agua potable ( ) 22. Mejorar ganadería (k) 23. Falta ampliación de la red de agua potable ( ) 24. Peligro de extinción de bosques de encino (s) 25. Falta de ampliación de electrificación ( ) 26. Oferta limitada de proyectos productivos ( ) 27. Falta seguridad pública ( ) 28 Riesgos a vientos fuertes ( ) 29. Inundaciones ( )

Tabla 5. Indicadores para monitorear los cambios en los problemas, y número de votos obtenidos durante el primer taller participativo en el municipio de Rosario Tesopaco, Sonora por cada nivel de importancia

Indicador	Respuestas por orden de importancia			
	Muy importante	Importante	Moderadamente importante	Poco importante
Incremento en las visitas médicas a las comunidades	8	3		
23. Número de peticiones para la prevención de la drogadicción (20)	8	3		
15. Número de programas de prevención (5, 13)	7	1	1	2
8. Metros lineales construidos de drenaje (8)	6	5		
33. Número y tipo de proyectos aprobados (26)	6	5		
24. Número de programas para potabilizar agua (21)	6	4	1	
12. Número de proyectos aprobados y apoyados (11)	5	6		
13. Número de trámites reducidos (12)	5	6		
14. Número de veces que se cumple con los tiempos establecidos (12)	5	6		
10. Número de comités en las comunidades (10)	4	7		
11. Cantidad de cursos de capacitación recibidos (10)	4	7		
22. Número de jóvenes que emigran (19)	4	7		
19. Kilómetros de caminos reparados (17)	4	7		
4. Número de empleos permanentes (4)	3	4	3	1
30. Número de comunidades con red eléctrica (25)	1	10		
16. Número de empleos y proyectos productivos (14)		11		
20. Calidad de la reparación de los caminos (17)	1	9	1	
1. Cantidad de producto comercializado (1)	1	9		1

18. Número y tipo de gestorías proporcionadas por Desarrollo Rural del Valle del Yaqui, A. C. (16)	1	7	3	
34. Asignación de elementos de seguridad a las comunidades (27)	1	7	2	1
27. Número de casas con tubería de agua potable (23)		8	3	
2. Kilómetros de la red de caminos (2)		9		2
37. Número de viviendas acondicionadas (28)		8		3
35. Número de elementos con que cuenta la corporación (27)		7	3	1
6. Número de solicitudes (7)		6	5	
7. Número de permisos obtenidos (7)		6	5	
32. Kilómetros de red eléctrica (25)		6	5	
31. Número de casas con corriente eléctrica (25)		6	5	
36. Mejoramiento de vivienda (28)		6	4	1
39. Censo habitacional (30)		5	6	
17. Número de rellenos sanitarios (15)		5	5	1
38. Número de apoyos para la construcción de vivienda (30)		4	7	
26. Número de sementales adquiridos (22)		4	7	
40. Número de hectáreas de maguey (31)		5	4	2
25. Número de hectáreas de praderas mejoradas (22)		4	6	1
21. Número de centros deportivos y recreativos (18)		4	4	3
5. Número de permisos para aprovechar la palma (6)		2	7	2
9. Número de registros para ranchos cinegéticos (9)		2	3	6
29. Número de hectáreas que cuentan con encino (24)			4	7

Nota: el número dentro del paréntesis corresponde al problema presentado en la Tabla 4, y que medirá el indicador.

Tabla 6. Asuntos y/o problemas validados y calificados durante el segundo taller en Rosario Tesopaco, Sonora

Asunto y/o problema		Respuestas por orden de importancia*				Total	Prioridad**
No.	Nombre	MUI	IMP	MOI	POI		
4	Falta de empleo	20				60	1
17	Malas condiciones de las vías terrestres	20				60	1
10	Falta de organización y capacitación	17	2	1		56	2
22	Mejorar la ganadería	17	2	1		56	2
11	Falta de apoyo crediticio	13	7			53	3
9	Falta de registro para establecer ranchos cinegéticos	11	9			51	4
12	Burocracia	9	11			49	5
5	Alcoholismo	8	12			48	6
14	Falta de recursos económicos	8	11	1		47	7
7	Permiso para explotar recursos maderables	11	4	5		46	8
1	Problemas de mercado	5	13	2		43	9

* MUI=muy importante; IMP=importante; MOI=moderadamente importante; POI=poco importante.
**Se obtiene al multiplicar por 3, por 2, por 1 y por 0 las respuestas del orden de importancia MUI, IMP, MOI y POI, respectivamente.

se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6, de la misma manera que se hizo para los resultados mostrados en la Tabla 2.

Una vez priorizados los asuntos se solicitó a los asistentes que por grupos señalaran cómo se relacionan los cinco asuntos y/o problemas prioritarios entre sí, así también se les pidió dar su opinión o justificación del porqué de estas relaciones. Los resultados de esta actividad se observan en la Tabla 7.

Para estos cinco asuntos prioritarios se mencionó a los asistentes los indicadores asociados que se obtuvieron en el primer taller y se les pidió que ratificaran o redefinieran dichos indicadores, consiguiéndose de esta manera el listado final para estos cinco asuntos, y por ende la prioridad de sus indicadores respectivos (Tabla 8).

Tabla 7. Asuntos y/o problemas y sus relación entre si, obtenidos en el segundo taller en Rosario Tesopaco, Sonora

Asunto y/o problema		Se relaciona con*	Opinión o justificación
4	Falta de empleo	10, 11	"al no estar en condiciones los caminos, no vienen a invertir", "al no haber capacitación se reduce la posibilidad de empleos", "al no estar organizados no hay posibilidad de créditos", "con apoyos crediticios se mejora la ganadería", "con buenos caminos se mueve mejor el ganado"
17	Malas condiciones de las vías terrestres	10, 4	
10	Falta de organización y capacitación	11, 4	
22	Fortalecer al sector ganadero	17, 10, 11	
11	Falta de apoyo crediticio	4, 10, 22	

*Corresponde a los números de asuntos y/o problemas de la Tabla 6.

Organizados en grupos de trabajo, se procedió a identificar en mapas los sitios donde la gente considera que se debe medir cada uno de los cinco problemas a través de los indicadores propuestos. En algunos casos, tuvieron que matizarse; por ejemplo, se mencionó que los indicadores asociados a mejorar los caminos y la actividad ganadera, así como falta de apoyos crediticios, deben atenderse primordialmente hacia las comunidades más alejadas de la cabecera municipal, en tanto que los indicadores asociados a la falta de empleo, falta de organización y capacitación, problemas de mercado y falta de recursos económicos, se requiere monitorearlos en todas las comunidades del municipio.

Para los cinco asuntos prioritarios y sus respectivos indicadores se propuso, por parte de los asistentes, la frecuencia en que éstos deberán ser medidos (Tabla 9).

Al final del segundo taller, los participantes decidieron designar responsables para darle seguimiento a las acciones derivadas del taller, y se propusieron abierta y directamente aquellas personas que de forma voluntaria consideraron poder llevar la responsabilidad de alguno o algunos de los indicadores.

Conclusiones

La experiencia generada, en relación con el momento en el que debe iniciar el trabajo para obtener los indicadores, nos lleva a proponer que desde el principio de la etapa de diagnóstico del OET se generen acciones tendientes a conformar el paquete de indicadores para la evaluación en la etapa de seguimiento. Cabe

Tabla 8. Indicadores finales obtenidos para los cinco asuntos y/o problemas prioritarios durante el segundo taller en Rosario Tesopaco, Sonora

Asunto y/o problema	Indicador	
	Propuesta inicial (primer taller)	Propuesta final (segundo taller)
Falta de empleo	a) Número de empleos permanentes.	a) Número de empleos permanentes. b) Número de empleados de base y temporales que contrata cada empresa. c) Días de la semana que trabajan. d) Número de desempleados y en que pueden trabajar cada uno.
Malas condiciones de las vías terrestres	a) Kilómetros de caminos reparados. b) Calidad de la reparación de los caminos.	k) Kilómetros de caminos reparados l) Calidad de la reparación de los caminos. m) Número de solicitudes para mantenimiento de los caminos.
Falta de organización y capacitación	a) Número de comités en las comunidades. b) Cantidad de cursos de capacitación recibidos.	h) Número de comités en las comunidades. i) Cantidad de cursos de capacitación recibidos.
Mejorar la ganadería	a) Número de sementales adquiridos. b) Número de hectáreas de praderas mejoradas.	f) Número de sementales adquiridos. e) Número y tamaño de espacios para la rotación de ganado. g) Número de ganaderos que usan inseminación artificial.
Falta de apoyo crediticio	a) Número de proyectos aprobados y apoyados.	j) Número de proyectos aprobados y apoyados.

aclarar que las etapas del OET son: caracterización, diagnóstico, pronóstico y propuesta.

Los indicadores obtenidos para Catazajá, Chiapas y Rosario Tesopaco, Sonora, que están directamente relacionados con los obtenidos como guía, repre-

Tabla 9. Frecuencia de medición para los cinco asuntos prioritarios y sus indicadores obtenidos durante el segundo taller en Rosario Tesopaco, Sonora

Asunto y/problema	Indicador	Frecuencia de medición
Falta de empleo	a) Número de empleos permanentes.	trimestral
	b) Número de empleados de base y temporales que contrata cada empresa.	anual
	c) Días de la semana que trabajan.	mensual
	d) Número de desempleados y en que puede trabajar cada uno.	anual
Malas condiciones de las vías terrestres	k) Kilómetros de caminos reparados.	semestral
	l) Calidad de la reparación de los caminos.	semestral
	m) Número de solicitudes para mantenimiento de los caminos.	trimestral
Falta de organización y capacitación	h) Número de comités en las comunidades.	trimestral
	i) Cantidad de cursos de capacitación recibidos.	mensual
Mejorar la ganadería	f) Número de sementales adquiridos.	anual
	e) Número y tamaño de espacios para la rotación de ganado.	semestral
	g) Número de ganaderos que usan inseminación artificial.	semestral
Falta de apoyo crediticio	j) Número de proyectos aprobados y apoyados.	semestral

sentan el 36 %. Esto indica que la lista de indicadores inicial provee un importante apoyo en la selección de los indicadores, lo cual a su vez se relaciona con el hecho de haber realizado la selección sobre la base de indicadores de sustentabilidad y de los asuntos o problemas identificados en los estudios de ordenamiento ecológico territorial existentes.

La evaluación de los indicadores para conocer su importancia y derivar su prioridad convendría afinarla en términos metodológicos, ya que la experiencia es que cuando surgen muchos indicadores, los asistentes "pierden" objetividad ante tal cúmulo de información y le dan a casi todos los indicadores la misma importancia, tendiendo ésta hacia los valores "muy importante" e "importante"

y dificultando la selección de un número relativamente reducido de indicadores prioritarios, como se ha previsto para iniciar el monitoreo.

En cuanto a las herramientas aplicadas, es evidente que las entrevistas cerradas no fueron funcionales, y en términos generales, sólo se recomiendan para apoyar los talleres.

El trabajo en grupos favoreció la apropiación del tema y los resultados, en el municipio de Rosario Tesopaco, Sonora, los asistentes al final fueron conduciendo las acciones y aseguraron que ellos podrán seguir el proceso con muy poca asesoría, acotada al manejo de las técnicas de muestreo y evaluación de algunos de los indicadores.

El aprendizaje deberá continuar, y aunque en el municipio de Catazajá, Chiapas no se logró como se esperaba, la transferencia de capacidades, y la gente se apropió poco del proceso, en ambos casos la experiencia ha dejado establecidos compromisos para continuar, aun sin el apoyo de los técnicos.

Es conveniente elaborar apoyos didácticos del proceso para el seguimiento del OET basado en estas experiencias, a fin de que pueda ser replicado y retroalimentado en otros municipios del país.

Referencias

Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (1991), *Nuestra propia agenda sobre desarrollo y medio ambiente*, México: BID/PNUD, Fondo de Cultura Económica, Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. Criterios e indicadores para la ordenación sostenible de los bosques naturales, México.

CONANP (2006), *Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación Ambiental: Informe 2006*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT, México.

CONANP (2004), *Sistema de Monitoreo y Evaluación Participativa de los Programas de Desarrollo Regional Sustentable (PRODERS)*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT México.

De Janvry, A., B. Santos y J. Sadoulet (1993), *Reporte de la evaluación de los primeros cinco años del Plan Sierra*, documento inédito, San José de las Matas, República Dominicana.

Esparza, A. M. (1997), *Índices generales para evaluar la sustentabilidad en sistemas forestales*, tesis de maestría en Ciencias, UACH.

FAO (2000), *Criterios e indicadores para el manejo forestal sostenible*, Nota informativa sobre bosques, junio de 2000.

FAO, PNUMA, OIMT, CIFOR y IUFRO (2000), *Informe de la consulta de expertos sobre criterios e indicadores para la ordenación forestal sostenible,* noviembre, Roma, Italia.

Gobierno del Estado de Jalisco y Universidad de Guadalajara (2001), *Indicadores Municipales de Sustentabilidad*, Ediciones U. de G., México.

Gobierno del Estado de Querétaro (2002), *Sistema de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad*, Gobierno del Estado, México.

INE-INEGI (2000), *Sustainable development indicators of Mexico*, SEMARNAP, México.

Mallen, R. C. y J. A. García (2000), "La fauna silvestre en la determinación de criterios e indicadores para evaluar el manejo sostenible de los ecosistemas forestales", *Apuntes de curso sobre desarrollo sustentable*, en prensa.

Masera, O., M. Astier y S. López-Ridaura (1999), *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: marco para la evaluación*, Gira-UNAM, México.

SEMARNAT (2005), *Indicadores básicos del desempeño ambiental de México*: 2005, México.

Velázquez H., M. A. (1999), *Un modelo para analizar el desarrollo agrícola sustentable*, disertación de Doctor en Ciencias en Economía Agrícola, UACH.

Wijewardana, D., S. J. Caswell y C. Palmberg-Lerche (1997), *Criterios e indicadores para la ordenación forestal sostenible*, Actas del XI Congreso Forestal Mundial, 13-22 de octubre de 1997, Natalia, Turquía.

Zinck, J. A., J. L. Berroterán, A. Farshad, A. Mamen and S. Wokabi (2001), "Approaches to assessing sustainable agriculture", en Palacio-Prieto, J. L. y M. T. Sánchez Salazar (eds.), *Geografía para el Tercer Milenio*, Instituto de Geografía, UNAM, mayo, México, pp. 96-119.

Responsabilidad ambiental compartida: una perspectiva de análisis multiregional para México

Rafael Borrayo López
Instituto de Investigaciones Económicas
Universidad Nacional Autónoma de México

Problemas de atribución ambiental: una perspectiva regional para México

Planteamiento general

Así como los ecosistemas son patrimonios compartidos, los impactos sobre ellos deben tener mecanismos transparentes para asignar las responsabilidades ambientales. Es difícil la delimitación económica y espacial de los problemas ambientales, pero no hay duda de que el interés por mejores instrumentos de gestión ambiental camina en esa dirección. Los tratamientos que ha recibido el problema del calentamiento global han empujado un tema central: la responsabilidad ambiental compartida. La preocupación por cuantificarla se ha generalizado al conjunto de problemas ambientales en los que está presente inevitablemente un conflicto interespacial: entre países, regiones intra-nacionales y hasta entre individuos.

En la base de la solución de tal conflicto está la construcción de respuestas consistentes a la pregunta: ¿Quién contribuye con qué y en cuánto en la generación de impactos ambientales espacialmente?[1] Es un asunto delicado en tanto que pasa por identificar y nombrar actores y, además, que la asignación de responsabilidad siempre involucrará juicios de valor, pero lo importante entonces consiste en ofrecer respuestas en las cuales el "peso" de los juicios de valor sea mínimo.

[1] Una característica distintiva de países y regiones con bajo nivel de desarrollo económico es la fragilidad institucional. En el ámbito de la política ambiental, se expresa usualmente a través de cualquier problema de conflictividad social, involucra aspectos de falta de autoridad (regional), derechos de propiedad y baja coordinación institucional por ausencia de acciones coherentes de planeación ambiental.

Por ello, los otros recursos analíticos necesarios para tomar decisiones deben ser sustancialmente mejorados: los sistemas contables (económico-ambientales), las capacidades de modelación sobre esta base empírica de información y la derivación consistente de indicadores de sustentabilidad, como los de responsabilidad ambiental que se analizan en este trabajo.

En este trabajo se tocan los tres aspectos señalados, aunque hay un énfasis por mostrar un tipo de modelo económico-regional muy pertinente: uno multiregional de análisis *input-output* (o MRIO, por sus siglas en inglés). Porque interesa destacar el conflicto ambiental entre espacios económicos, se ofrece un marco analítico multiregional y se recomienda un indicador pertinente para apoyar la negociación de conflicto interespacial.

En esta perspectiva hay tres maneras de dar respuesta a la pregunta ¿cómo asignar responsabilidades ambientales? y se hace desagregando en responsabilidad del productor, del consumidor y la propuesta de Gallego y Lenzen (2005) sobre la responsabilidad compartida: asignar impacto ambiental de producir y consumir una cierta mercancía para todos los agentes de una cadena de producción; como un principio fundamental, viable de implementar, que permite asignar responsabilidades ambientales.

Para instrumentar estos marcos analíticos se requiere de sistemas contables, extendidos ambientalmente, mediante la integración de cuentas de flujos y acervos físicos, que incluyen al suelo como espacio ocupado por las actividades humanas.

Los marcos metodológicos MRIO uniregionales no han sido adecuados para modelar problemas de atribución que involucran el lado físico de la economía.[2] Estudios empíricos muestran cómo, mediante un modelo uniregional y un MRIO, las estimaciones de los multiplicadores y de las "incorporaciones" de factores de producción (incluyen los ambientales) difieren sustancialmente (Proops *et al.,* 1999; McGregor *et al.*, 2004; Peters y Hertwich, 2004). Por ello, Lenzen *et al.* (2007) proponen transitar hacia modelos interregionales, en su versión más viable de instrumentar que es un modelo MRIO, con el fin de cuantificar procesos de asignación de responsabilidades ambientales más confiablemente.

Importa destacar, entonces, la perspectiva espacial o regional del marco analítico que alberga las metodologías de cálculo de indicadores de sustentabilidad, en particular, los de responsabilidad ambiental.

---

[2] Se considera que una mejor denominación sería: Sistema físico de sustentación de un sistema económico (o SFSSE).

Frente a un escenario futuro de escasez de recursos e intensificación de las presiones sobre los sistemas ambientales (SA), los registros sistemáticos de variables antropogénicas (producción y consumo) y ambientales tendrán que ser más precisos, rigurosos y extensos. Los sistemas contables derivados serán una base empírica fundamental para construir modelos de interdependencia entre un sistema económico (SE) y SA los , indispensables para mejorar el diseño de instrumentos de política y reglas institucionales de la gestión ambiental de estilos de vida más sustentables. Esta transición pasa por un control más ordenado y eficiente del conflicto ambiental local y regional.

Antecedentes para México

En general, la política ambiental en México está caracterizada por tener pocos e ineficientes instrumentos de política con orientación de mercado y dominan los instrumentos del tipo comando-control, para los cuales no se dispone de un sistema de vigilancia ambiental. Pero la mayor debilidad radica en su escasa integración y jerarquización estratégica clara, por eso la evidencia empírica es contundente: insuficiencia para contener o estabilizar la gran mayoría de problemas ambientales estructurales, los saldos físicos del acervo de capital natural siguen decreciendo (PNMARN, 2001-2006).[3]

Además, se sostiene que en el país disponemos de un conocimiento muy básico sobre cómo operan los mecanismos de asignación de factores ambientales a nivel estructural y espacial. Los estudios sobre problemas económico-ambientales a escala regional son inexistentes en México o muy escasos, tal vez por la pésima información disponible. Por ello, se considera necesaria la investigación que permita identificar y cuantificar cargas o responsabilidades por la generación de presiones ambientales entre los distintos espacios económicos del territorio nacional y que para los efectos de este trabajo se le denomina: el problema de atribución (PA_t).

Con el fin de extraer lecciones para México, este trabajo está conformado por una sección donde se esboza el marco analítico general *input-output* (I-O) desde una perspectiva multiregional, en el cual puedan derivarse indicadores de responsabilidad ambiental (IRA) cuantificables consistentemente. Se expone una breve discusión sobre las tres formas de asignar responsabilidad ambiental. Se

[3] No obstante se reconoce el giro institucional significativo de la política ambiental en México a partir de 1994.

plantea la necesidad de extender los registros oficiales sistemáticos en México hacia un sistema de contabilidad física y espacial. En las conclusiones se argumenta en favor de consolidar una estrategia de planeación ambiental para las regiones en México; se considera pieza indispensable para la concepción de políticas públicas con un contenido esencial de Desarrollo Regional Sustentable (DRS).

Marco analítico general con enfoque multiregional

Un contexto general

Para establecer correspondencias (nexos) funcionales entre actividades económicas y las presiones ambientales que generan, se construye una representación del ambiente (ensamble complejo de ecosistemas) que se identifican como sistema ambiental (SA), el cual es alterado por las actividades de producción y consumo de un sistema económico (SE).

Las relaciones de correspondencia vislumbran sólo una parte del total de efectos que resultan de la interacción conjunta SE-SA. Es la parte "observable" o previsible, pero se requiere de un marco analítico dentro del cual derivar formas de cuantificación de cambios en los procesos de interacción. Los marcos disponibles emplean flujos medidos en unidades monetarias y/o físicas, según el enfoque.

Se propone primero un contexto general que permite describir por etapas los procesos económico-ambientales implicados por la interdependencia SE-SA. Desde la extracción de recursos de un SA hasta el vertimiento de desechos hay varios momentos del análisis que es necesario identificar con el fin de precisar la cuantificación de las responsabilidades ambientales.

Para ello se identifica un ciclo "completo" de evaluación ambiental de las actividades antropogénicas (CEA) de producción y consumo, como un proceso general de cuatro etapas: Actividad humana → Intervención ambiental → Impactos ambientales → el 'Problema ambiental' (Figura 1). Para cada problema ambiental, debidamente identificado y especificado, se analiza desde la generación de presiones antropogénicas hasta el análisis de consecuencias (impactos) y se precisa la contribución relativa al problema ambiental de cada agente responsable.

El concepto de ciclo permite delimitar el alcance que tiene cualquier cálculo de atribución de responsabilidades ambientales. Normalmente los enfoques existentes de análisis de impactos (MFA, LCA, SDA)[4] no incluyen el análisis de

[4] Se toman las siglas en inglés por la referenciación directa a la literatura consultada MFA (*material flow analysis*), LCA (*life-cycle assessment*) y SDA (*structural decomposition analysis*) y otras metodologías al uso.

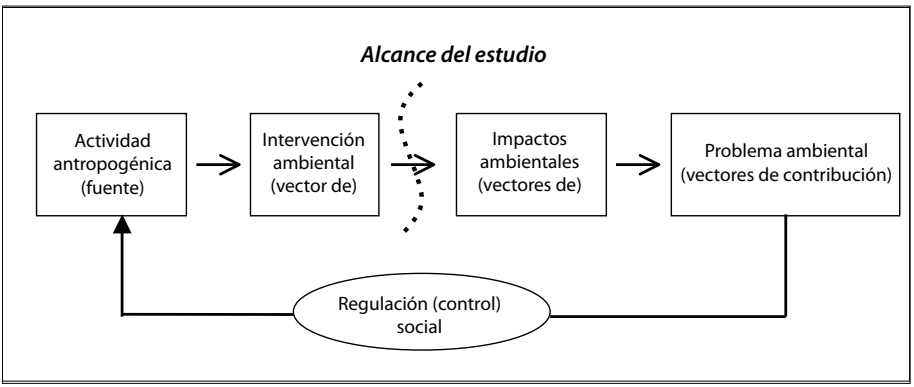


Figura 1. Se analizan desde el origen hasta las consecuencias de las presiones antropogénicas y se detalla la contribución al problema ambiental de cada agente responsable.

consecuencias completo y menos los análisis de riesgos ambientales. Esto es particularmente crítico para la disposición de desechos de alta toxicidad alejados del sitio de generación (responsable) o el caso de extracciones de recursos ecológicamente frágiles, aun cuando se disponga de un mecanismo justo y transparente de asignación de responsabilidades y algún indicador base para tal asignación. Procesos de negociación de conflictos ambientales inter-espaciales de este tipo son muy delicados y siempre encuentran obstáculos severos por falta de datos para avanzar en su solución.

Desde una perspectiva CEA, los flujos económicos y físicos que salen y entran de un SE son cuantificables y es posible entonces construir juicios para evaluar cuáles impactos (consecuencias) son más dañinos o permanentes o cuáles esenciales para sustentar un cierto nivel de desarrollo espacialmente localizado. La estructura de 'ciclo' puede manipularse modularmente, lo cual permite especificar mejor los instrumentos y sus alcances respectivos; esto nos recuerda que los instrumentos no sirven para abordar todos los problemas, dado que tienen dominios restringidos (alcances) a algunos de los cuatro niveles de análisis de desempeño ambiental mencionados.

Sin embargo, esta perspectiva de análisis estructural tiene siempre un basamento imprescindible que es la ubicación espacial de las actividades humanas de producción y consumo, generadoras de todas las perturbaciones sobre los SA; baste recordar que los SA son acervos de capital natural específicamente localizados.

Porqué un modelo I-O multiregional

Las interacciones entre todo SE y sus SA intrínsecamente asociados pueden expresarse mediante un conjunto de flujos físicos *input* y *output,* que usualmente se agrupan en usos de recursos naturales y generación de contaminantes, y cuando tales flujos son transformados a su paso por un SE es posible cuantificarlos como flujos 'incorporados' en las mercancías producidas e intercambiadas entre los diferentes espacios económicos. Modelar las actividades humanas de producción y consumo, interregionalmente, permite estimar los flujos físicos que induce, los cuales son indicadores indirectos del tamaño de los impactos (alteraciones) sobre los acervos de capital natural existentes.

Los modelos I-O son muy detallados en la descripción de las mercancías producidas por un SE. Están en la base de los sistemas contables y ofrecen buenas descripciones sobre las transacciones con flujos monetarios y estimaciones para los flujos físicos asociados. Sin embargo, no son instrumentos adecuados para predecir cambios (pronóstico), en particular, porque no contienen una descripción realista sobre las conductas de los consumidores.

Se considera que los coeficientes I-O (o funciones de producción de Leontief) no aportan información sobre los usos marginales de factores como función de los precios y otros determinantes. Este aspecto es representado mucho mejor por las funciones de elasticidad-sustitución constantes (CES), muy utilizadas en la elaboración de modelos de equilibrio general computable. En última instancia se trata de una familia de modelos compatibles, lo cual permite construir estructuras modulares. No hay una vía única para realizar esta tarea, o dicho en otras palabras: no hay un 'mejor' modelo, sino sólo 'buenos' modelos para propósitos particulares.

Para evaluar desempeños ambientales de los distintos sistemas económicos regionales, a escala mundial e intra-nacional, los métodos del análisis ambiental han extendido sus marcos analíticos con el fin de cuantificar y evaluar mejor los impactos derivados de la actividad humana en general, en el tiempo y en el espacio. Los desarrollos recientes en esta dirección son muy importantes porque permiten abordar analíticamente problemas complejos como los denominados de asignación de responsabilidad ambiental, por el uso de recursos naturales y la generación de desechos finales. Un problema así, sólo puede manejarse en el marco de un SE abierto y, por ende, se argumentará en favor de la vía de construcción de un MRIO para México.

Aunque el modelo I-O de atribución ambiental se ha empleado con precaución para casos específicos, Lenzen (2005 y 2007) viene recuperando adecuadamente el planteamiento generalizable esbozado ya por Leontief (1970). Este

trabajo sigue esa dirección, por eso el modelo es para un factor ambiental (*input* o *output*) que aplica a las dos grandes clases de actividades antropogénicas importantes: las que usan recursos naturales y las generadoras de contaminantes.

Modelo I-O general de asignación de flujos físicos o impactos ambientales

La ecuación-*input* fundamental es:

$$q=(I-A)^{-1}y \tag{1}$$

donde q es el vector ($Nx1$) de output sectorial, con elementos x_i para cada sector económico-i (i=1,…n), y es un vector ($Nx1$) de demandas finales con output sectorial, con elementos y_i. A es la matriz de requerimientos (o de coeficientes I-O) con elementos a_{ij} (con $j=1,\ldots,M$ y $M=N$), que describen las cantidades por demanda intermedia de output desde el sector-i interno (o nacional[5]) empleado por el sector-j (también interno, nacional o regional), por unidad de output x_j (sectorial). La matriz $(I-A)^{-1}$ ($=L$) es la inversa de Leontief con elementos l_{ij} que representan las cantidades de output generado en cada sector-i por unidad de demanda final por el output del sector-j. El uso total de recursos o la generación de contaminantes en la esfera de la producción es determinada mediante:

$$f^q=Pq \tag{2}$$

donde f^q es un vector (Kx1), con elementos f_k^q que representa el uso total del k-ésimo tipo de recursos o de la generación del k-ésimo tipo de contaminante (o desecho en general) debido a todas las actividades de producción en la economía en consideración. La matriz P (KxN), cuyo elemento genérico es p_{ij}, representa el uso (o generación) promedio del recurso-k (o contaminante-k) por unidad de output sectorial, x_j.

En este marco analítico I-O estándar, es usual modelar el problema de atribución de flujos físicos o "ambientales" a las actividades económicas mediante una extensión de la ec. (1):

$$f^q=P(I-A)^{-1}y \tag{3}$$

[5] O corresponder a un espacio esconómico debidamente acotado como una región.

Sin embargo, si los usuarios (demandantes) finales emplean también directamente recursos o son generadores de contaminantes, se hace necesario distinguirlas (separarlas) de las contribuciones atribuibles a la producción. Habrá entonces dos componentes o contribuciones principales f^q y f^y y , respectivamente:

$$f^q = f^q + f^y = P^q(I-A)^{-1}y + P^y \tag{4}$$

(se requiere distinguir las nuevas *P*'s, las asociadas a la producción y al consumo final directo (P^q y P^y).

La matriz P^q es la matriz (KxN) de coeficientes de uso de recursos para los N sectores de producción. Y la matriz P^y, donde cada columna contiene los elementos $p_{k,z}$ como los usos directos de recursos-k (promedio)[6] por unidad de gasto en demanda final que realiza el grupo 'z' (por ejemplo: tipos de hogares).

Es de notar por los autores que para el caso de economías cerradas o, por ejemplo, la economía mundial, $P^q = P^y$: es por eso que todos los usos en la producción pueden atribuirse a la demanda por consumo final de los outputs de esa producción.

Debe haber un tratamiento muy detallado y preciso de los flujos económicos hacia y desde el exterior. La modificación se hace endogeneizándolo al consumo intermedio (a *A*) mediante la adición de la matriz de coeficientes de importaciones (A^m) a la matriz de requerimientos directos que ahora son internos (regionales o nacionales) y no totales, se distingue como A^d; así la inversa es de la forma: $(I-(A^m+A^d))^{-1}$.

En este marco analítico I-O estándar, uniregional, es usual para modelar el problema de atribución de flujos físicos o ambientales a las actividades económicas. El paso siguiente consiste en una extensión hacia un contexto de modelo MRIO, que se ilustra mediante el caso de dos regiones; sus resultados se mantienen para el caso de más de dos regiones.

Hay evidencia empírica que muestran cómo difieren sustancialmente las estimaciones de los multiplicadores y de las "incorporaciones" de factores de producción (incluyen los ambientales) en una comparación entre un modelo uniregional y un MRIO (Proops *et al.*, 1999; Lenzen *et al.*, 2004; McGregor, 2004; Peters y Hertwich, 2004). Por ello, en Wiedmann *et al.* (2007), Turner y Lenzen (2007) y Lenzen *et al.* (2007) se concluye que el marco analítico MRIO es muy

[6] Ejemplos de usos directos de recursos por los hogares son la energía empleada para la combustión doméstica, uso de combustibles para automóviles (transporte) privados, ocupación de suelo para vivienda, etc., todas estas actividades implican también la generación de desechos para su disposición final a los SA.

pertinente y consistente para asignar uso de recursos y contaminación totales incorporados en las mercancías económicas hacia y desde un SE, cualquiera sea el principio de asignación de responsabilidad seleccionado.

En general, las importaciones de una región (país) provienen de otras regiones las cuales no tienen la misma tecnología de producción. Cada una de éstas también demanda importaciones de economía externas. De tal manera que los procesos de incorporación de factores de producción, incluidos los ambientales, en las mercancías intercambiadas, integra cadenas de valor dentro y fuera de una región de la misma forma en la que se hace para una economía. Es claro que tales trayectorias de integración de valor interespacial no puede modelarse en un marco uniregional (Turner y Lenzen, 2007).

Descripción general del modelo interregional de McGregor *et al.* (2004). Definiciones y descripción generales

Las actividades de producción y consumo relacionadas con los SA son dos muy generales: *i)* usos de recursos naturales y *ii)* generación de desechos para disposición final (contaminación).[7] Aunque se trata del caso de dos regiones (índices respectivos, r=1 y s=2), cuya estructura es generalizable, para el modelo se hacen las siguientes definiciones generales:

q_{rs}: =Vectores de *outputs totales producidos* en reg-r destinados a la demandas por consumo final en la reg-s ('desde r hacia s'); *dim(Nx1)*

$A_{rs,(ij)}$: =Representa a las matrices de coeficientes I-O *intra-regional* (cuando r=s) e *inter-regional* (cuando r≠s), todas con *dim(NxN)*; muestran las cantidades de mercancía-i de reg-r usada por unidad de output en sector-j de la reg-s (flujo de exportac de la región r a la s). Para cada especificación regional *(r,s)* hay una matriz *(i,j)* de coeficientes I-O interindustrial contenida.

y_{rs}: =vectores de *exportación para demandas por consumo final* desde la reg-r a la reg-s ('desde r hacia s'), para todo r≠s; todos con *dim(Nx1).*

[7] Nota importante: el modelo es aplicable tanto para factores ambientales (*i*) y (*ii*).

y_{rs}:=vectores de *demandas locales por consumo final*, con r=s, todos con *dim(Nx1)*.

P^q_{rs}:=representa las matrices (*dim (KxN)*) de coeficientes output de generación de contaminantes; es decir, las cantidades físicas de emisiones de cada contaminante-k directamente generado por unidad monetaria de output en cada sector-i en la reg-r

p^y_{rs}:=representa subvectores (*dim (Kx1)*) de coeficientes de generación de contaminantes por gasto en demanda final; es decir, las cantidades de emisiones de cada contaminante-k directamente generado por unidad de gasto en demanda final en la reg-r por consumidores finales de la reg-s.

Los conjuntos de datos están contenidos en: $A_{rs,(ij)}$; c_{rs}; P^q_{rs}, y p^c_{rs}. Las variables a calcular son las *q`s*, los multiplicadores y las *f's*, esencialmente. El planteamiento más general proviene de McGregor *et al.* (2004), para un conjunto de SE conformados bajo un modelo MRIO, que se ilustra para un caso general de dos regiones, las actividades económicas se describen según el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \tag{5}$$

en forma sintética:

$$Q = AQ + Y \tag{6}$$

cuya solución en Q es:

$$Q = (I - A)^{-1} Y \tag{7}$$

equivalente a:

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & I - A_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \tag{8}$$

Este conjunto de actividades genera un conjunto de flujos físicos inputs y outputs del SE, representados mediante la matriz de flujos *F*, formalmente el sistema se expresa como:

$$\begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1^q & 0 \\ 0 & P_2^q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I-A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & I-A_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P_{11}^y & P_{12}^y \\ P_{21}^y & P_{22}^y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \quad (10)$$

es equivalente a:

$$F = P^q (I-A)^{-1} Y + P^y Y \quad (11)$$

donde las f_{11} y f_{12} representan los usos de recursos o las emisiones totales generados en la reg-1 durante un periodo en términos de emisiones directas e indirectas atribuibles a consumidores final en reg-1 y 2. De manera similar f_{21} y f_{22} representa los usos de recursos o las emisiones totales generados en la reg-2 para soportar consumo final en reg-1 y 2.

Una medida de la "carga" ambiental total atribuible a la reg-1 y 2 respectivamente son:

$$f_1 = f_{11} + f_{12}, \ldots \text{ y } \ldots f_2 = f_{21} + f_{22} \quad (12)$$

En realidad es un sistema interregional (general) para estimar *F*. Es muy importante calcular las q_{rs}'s porque se estima mediante la ec (2) $f_{ij} = P_{ij}\ q_i$. La desagregación permite identificar las "cargas" ambientales propias a cada región, las generadas endógenamente, y los atribuibles al comercio entre las diferentes regiones o espacios económicos. Se puede definir entonces el balance de "comercio ambiental regional" entre la región-r y la región-s mediante:

$$B_{12} = (f_{12} - f_{21}) \quad (13)$$

donde las *f's* representan usos de recursos o contaminación en la región 1 que es requerida para soportar el consumo de región 2 y viceversa.

Esta sería la perspectiva analítica general a partir de la cual se abordarían los problemas de atribución ambiental a escala regional. La estimación de la matriz *F* es la materia prima, o base de información consensable y oficial, necesaria para elaborar de indicadores de responsabilidad ambiental y, por ende, plataforma de

base para negociar conflictos ambientales interespaciales asignando responsabilidades o atribuciones ambientales.

Este modelo toma en consideración el equivalente al llamado "ROW" (*rest of the world*). En un mundo de dos regiones, dada una región de referencia el exterior es la otra región y viceversa. Endogeneizar el comercio de bienes y servicios intermedios entre dos regiones y atribuir toda la actividad productiva al consumo final de la región 1 o 2 como se muestra en la ecuación 7, también permite examinar cómo la contaminación generada en la producción de cada región soporta el consumo final de ambas regiones. Se determina una matriz de 2Kx2N (con k=1,…,K) particionada de multiplicadores de generación de contaminación de demanda debido al consumo final por *outputs* de cada sector productivo en cada región, así:

$$\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1^q & 0 \\ 0 & P_2^q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I-A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & I-A_{22} \end{pmatrix}^{-1} \tag{14}$$

Sustituyendo en ecuación 4 se obtiene:

$$\begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P_{11}^y & P_{12}^y \\ P_{21}^y & P_{22}^y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \tag{15}$$

Se pueden calcular los f^q's y f^y's que corresponden al primero y segundo términos del lado derecho de la ecuación anterior. En realidad, las posibilidades de aplicación serían simplificaciones de este marco analítico general.

Por último, de manera sintética un *régimen o estilo de desarrollo regional* quedaría determinado por tres matrices que son componentes generales del modelo: *i)* A y P^q, el patrón tecnológico que representa el cómo se hacen las mercancías principales y los sub-productos que genera, y *ii)* P^y, el patrón de consumo o 'estilo de vida', que representa el cómo se consumen las mercancías en general.

Requerimientos de información

Se considera que es mejor disponer de un referente general para el análisis porque determina los requerimientos de información, la manera en que se ordena, estima y presenta la base empírica que acompaña el marco analítico recomendado

para el análisis del desarrollo regional sustentable en México. La información más completa debe ser parte de los sistemas de contabilidad económica con las extensiones ambientales necesarias. Se identifican los agrupamientos de datos más relevantes: *a)* Importaciones directas hacia el consumo final en la economía local (región), s, descompuesta por mercancía (producto) y región de origen, para derivar los elementos (y_{rs}; matriz Y) para cada región externa, r, desde la cual se provienen (extraen) las importaciones. *b)* Importaciones usadas como *inputs* intermedios para cada industria local en la región s, descompuesta por mercancía y región de origen r para derivar los elementos (A_{rs}). *c)* Tablas I-O para cada región de las cuales se han extraído previamente las importaciones. Para estimar los elementos de la matriz interregional en sus componentes de intercambio (comercio), $-A_{rs}$ que forma parte de la matriz inversa de Leontief $(I-A)^{-1}$, con el fin de poder distinguir y cuantificar los efectos multiplicadores en la región exportadora, r. McGregor *et al.* (2004) proponen también un estándar o un conjunto de características que habrán de tener las tablas I-O regionales: *i)* mapeo sectorial, entendido como una matriz que mapea o reclasifica sectores-i en la región exportadora, r, y en sectores-i en cada una de las regiones importadoras, s; *ii)* un conjunto compatible de coeficientes I-O para uso de recursos o generación de contaminantes. Para cada sector-i debe haber coeficientes (P_{ki}) que representan la intensidad promedio de uso directo de recursos par los k-tipos de recursos (o generación de emisiones) requeridos para producir una unidad de *output*; *iii)* datos I-O equivalentes que permitan seguir la pista a las importaciones directas e indirectas desde las regiones que intercambian.

El problema de atribución ambiental o asignación de responsabilidades ambientales

En términos generales, un índice de contribución a un problema o de responsabilidad ambiental (IRA) puede diseñarse a partir de una relación funcional donde los argumentos sean el conjunto de las presiones ambientales (o flujos físicos) que describen completamente las consecuencias de la actividad humana dondequiera que se localice espacialmente. El IRA debe cumplir algunas propiedades (Rodrígues *et al.*, 2007; Lenzen *et al.*, 2007).

Hay tres maneras de dar respuesta a la pregunta ¿cómo asignar responsabilidades ambientales? Se hace desagregando en responsabilidad del productor, del consumidor y la propuesta de Gallego y Lenzen (2005) sobre la responsabilidad compartida. Los primeros son métodos para contabilizar uso de recursos o gene-

ración de contaminantes atribuibles a las actividades de producción (tipo "protocolo de Kyoto"), los segundos son métodos que transfieren la responsabilidad ambiental al consumidor de bienes y servicios (tipo ecological footprint, EF), y el tercer enfoque, el más general de tipo Gallego y Lenzen (*Ibid.*).[8]

Según Lenzen *et al.* (2007), los primeros intentos por desarrollar una medida de impacto que trate con productores y consumidores en el marco de una cadena de producción (oferta) se deben a Szyrmer (1992). Con base en un concepto de flujo total y modelación I-O estima el *output* industrial total distinguiendo la fracción destinada al consumo final del intermedio. Desde el original se identificó un problema de no-aditividad resultando en problemas computacionales, lo que conduce a un problema de doble contabilización.

Recientemente Rodrígues *et al.* (2007) han definido un indicador de responsabilidad ambiental que contabiliza las transacciones entre países de una manera "justa". Basados en consideraciones normativas derivan un IRA, siguiendo causalidad económica, como una medida que toma en cuenta aditividad entre actores y normalización de los efectos totales, es monotónico sobre las presiones ambientales y es simétrico con respecto a las conductas de consumo y producción.

Lenzen *et al.* (2007) demuestran que su indicador de responsabilidad ambiental compartida (RAC) satisface las cinco propiedades sugeridas por Rodrígues *et al.* (2006) excepto la propiedad de simetría, punto cuestionado por Lenzen *et al.* (2007, sec. 4.2) con sólida argumentación.

Como muchos otros problemas de asignación, un consenso aceptable para el correspondiente a la asignación de responsabilidad ambiental (RA) seguramente puede encontrarse entre las posiciones extremas (productor *vs.* consumidor). Con el fin de asignar responsabilidades a los actores participantes en las transacciones, uno tiene que conocer las cadenas de producción respectivas o relaciones interindustriales. El problema principal consiste en evitar la doble contabilización (Gallego y Lenzen, 2005). El resultado fundamental es que tanto los consumidores finales como sus oferentes de productos "hacia atrás", en la cadena de valor (*upstream*), juegan un papel en los impactos ambientales originados, los cuales son producto de una "mezcla" o combinación de decisiones de los agentes, como productores y como consumidores.

El concepto de RAC de Gallego y Lenzen (*op. cit.*) reconocen que hay siempre dos grupos de gente quienes tienen alguna responsabilidad sobre las mercancías producidas y los impactos causados, que implican siempre dos perspectivas de

[8] Para abundar sobre los dos primeros planteamientos pueden consultarse: Rodrígues *et al.* (2006), Ferng (2003) Hamilton y Turton (2002), Wier *et al.* (2001), Lenzen *et al.* (2004), Bastianoni *et al.* (2004).

responsabilidad implícitas siempre en cualquier transacción: el que ofrece la mercancía y el que la consume. Por ende, la responsabilidad de los impactos debe ser compartida entre ellos. No es una idea reciente, pero la contribución de Gallego y Lenzen (*Ibid.*) consiste en haberla conceptualizado consistente y cuantitativamente.[9]

Hacia la integración en el SCN de un sistema de contabilidad física y espacial en México

Sobre la integración de sistemas contables (económico y ambiental): un contexto mundial

Se ha descrito un marco analítico multiregional y una clase de indicadores posibles de sustentabilidad, en particular, los orientados a la asignación de responsabilidad ambiental; faltaría la base empírica para instrumentar ambas secciones. El referente más completo disponible en la actualidad, hacia el cual se mueven los países que están realizando extensiones ambientales ambiciosas a sus sistemas de cuentas nacionales (SCN), es el sistema contable: SEEA-2003.[10] Una representación bastante aproximada (de conjunto) sobre los flujos y acervos que describe esta estructura contable, mediante un conjunto de cuentas económicas y ambientales como se muestra en el esquema de la Figura 2.

Este sistema contable es el proyecto más ambicioso de registro sistemático de flujos y cambios en los acervos que resultan de las interacciones entre un sistema económico, SE (bloque I) y un conjunto de sistemas ambientales (SA) o ecosistemas (bloque IV). Los flujos que conectan ambos sistemas están localizados en los bloques II y III, se corresponden con los flujos físicos *input* y *output* al SE y a la inversa, con respecto a los SA.

Cada bloque contiene un conjunto de cuentas, las convencionales del SCN están en el bloque I, el estándar más actualizado corresponde a SNA-1993, con el tiempo se han realizado extensiones ambientales, básicamente, con nuevas cuentas localizadas en los bloques II y III. Sólo en I y IV hay cuentas de acumulación de capital y, por ende, de acervos. El sistema SEEA-2003 es el más completo y flexible, porque contempla cuentas posibles para el bloque IV, mediante la cuenta

[9] Las características relevantes del modelo, problemas y las posibles aplicaciones se detallan en Gallego y Lenzen (2005) y Lenzen *et al.* (2007).

[10] System of economic and environmental accounts (SEEA), propuesta conjunta de: UN, EC, IMF, WB y OECD.

de uso del suelo y la llamada *ecosystem accounts*, para construir a las cuentas de activos ambientales. El desarrollo más reciente en esta dirección lo ha hecho la *European Environmental Agency* (EEA; Weber, 2006). Con la elaboración de esta experiencia en la construcción de cuentas para el bloque IV, empieza a cobrar viabilidad la estructura contable completa del SEEA-2003.

En suma, con un marco analítico es ahora posible seleccionar un conjunto de indicadores derivados, más consistente, que permita construir relaciones causales más sólidas (entre presiones e impactos) pues tienen una base cognitiva y su base empírica asociada.

En la Comunidad Europea los esfuerzos institucionales por integrar sistemas contables han recibido impulso desde el más alto nivel, porque una prioridad central ha sido poder identificar y cuantificar el uso del medio ambiente en el sentido más amplio, tanto de los recursos comerciables como de los servicios no internalizados en la economía. La razón fundamental es la necesidad creciente que deriva de la integración de políticas ambientales, abierto a la escala regional, en el marco de un sistema global de toma de decisiones: la autoridad central de la Comunidad Europea.

La estandarización y extensión física y espacial de los sistemas contables sin duda alguna que mejorará significamente la evaluación de los costos y beneficios (públicos y privados), y permitirá "optimizar" el uso de recursos ambientales tomando en consideración escenarios de largo plazo (prospectivos). Los costos y beneficios directos habrán de incluir a los indirectos, con el fin de proporcionar a los tomadores de decisión públicos y privados con la información adecuada. Esto significa identificar y cuantificar confiablemente los impactos posibles de las actividades humanas (economía y población) sobre los ecosistemas.

Sin embargo, es fundamental la distribución espacial de las consecuencias (riesgos y conflictos) porque la reproducción de los ecosistemas es sensible a valores-umbral, la información estadística agregada no es insuficiente. Por esta razón, mediante programas de monitoreo se puede impulsar la recolección de estos datos haciendo uso de observación satelital, tecnologías de posicionamiento geográfico para el monitoreo y transmisión automática de datos. Por eso, es tecnológicamente posible elaborar sistemas contables para espacios económicos debidamente delimitados (país o región).

Con la experiencia que inicia la European Environmental Agency (EEA) es posible elaborar, desde la perspectiva económica, un conjunto de cuentas para el bloque IV: cuenta de uso de suelo y *ecosystem account* (Figura 2). Esto es factible debido a la mejora continua de la vigilancia y monitoreo ambiental; colección y

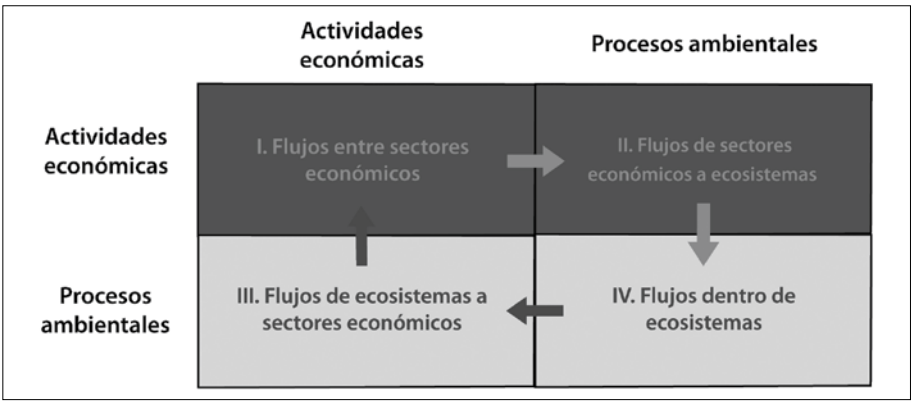


Figura 2. Representación aproximada sobre los flujos y acervos que describe la estructura contable, mediante un conjunto de cuentas económicas y ambientales.

procesamiento de datos y progreso acelerado en el desarrollo de técnicas estadísticas que facilitan la recuperación e integración de información (*Ibid.*).[11]

Cabe señalar que la Unión Europea empezó la extensión ambiental de sus SCN con la integración de las cuentas de flujos físicos, hace más de una década y desde la perspectiva del marco general de SEEA-2003, con la integración de la cuenta de uso de suelo y la llamada ecosystem account, se arranca esta fase superior que completa cabalmente este sistema contable.

Una propuesta sumamente interesante para el caso de las cuentas de agua, cuya base contable es una NAMEA (*National accounting matrix and environmental accounts*), pero construida a partir de la tabla de oferta (producción) y la tabla de utilizaciones (usos), lo cual evita construir una tabla I-O o una SAM y se reduce la pérdida de información, se encuentra en Fiorillo *et al.* (2007). Este enfoque es diferente de un enfoque I-O estándar, ya que permite tomar en consideración la producción secundaria de agua desde las actividades industriales y la demanda final, así como la producción primaria de agua que proviene de los oferentes de agua; con esta modificación el análisis de flujos físicos queda integrado a un sistema contable estándar.

[11] Por ejemplo, se han producido cuentas de uso de suelo para 24 países europeos. Son cuentas basadas en patrones espaciales explícitos proporcionados por cuentas de ocupación del suelo (o formación de cubierta vegetal) escalados hacia arriba y hacia abajo usando una malla de 1 km^2, para cualquier tipo de región administrativa o área de ecosistemas (cuencas hidrológicas, zonas costeras, bioregiones o áreas con biodiversidad), (Weber, 2006).

Lecciones para la realidad mexicana

Se recomienda seguir la experiencia europea en la materia e impulsar en México la creación de un sistema de contabilidad física y espacial, compatible con el sistema de cuentas nacionales (SCN), como base para construir una estrategia que integre regionalmente políticas ambientales. Por eso, las extensiones ambientales al SCN deben estandarizarse a lo largo del territorio nacional.

El diseño y puesta en marcha de un sistema de información económico- ambiental regionalizado en México puede realizarlo el INEGI, con solvencia y bajos costos. Las fuentes de datos para la medición de los flujos y acervos físicos provienen de los generadores de actividades económicas, fuentes oficiales y de un programa integral de monitoreo y vigilancia de los sistemas ambientales regionales.

Fundamentalmente, con los sistemas de contabilidad "completos" (económico y ambiental) se describen las actividades realizadas en el SE, las cuales demandan extracciones de recursos y vierten desechos a los SA. Sin embargo, los acervos de capital natural son la parte necesaria para cerrar el sistema contable completo, aunque es difícil su cuantificación pueden ser monitoreados y contabilizados sistemáticamente, hasta donde sea posible; de hecho se han construido en México capacidades institucionales para hacerlo: la experiencia europea en el campo es muy importante (Weber, 2006).

Sólo así se podría tener un conocimiento más preciso de las reservas y el ciclo de flujos físicos (biomasa y recursos naturales en general) que pasan por un SE. Este registro sistemático por origen y destino de los montos y composición de los flujos, permitiría reconstruir con mayor objetividad los patrones de apropiación humana de los SA, como una parte constitutiva de una visión de desarrollo sustentable. Sin estos sistemas de contabilidad completos es muy difícil implementar una estrategia de planeación ambiental sustentable para las regiones de México.

Más aún, ¿cómo entender la llamada "transversalidad" en México? La vía oficial mexicana para volver la política ambiental de corte transversal, sí es entendida en el sentido de 'generalizable' a la totalidad de prácticas y conductas de las empresas, los consumidores y las organizaciones en general, sin duda que es una buena estrategia, pero requiere "pies para caminar" (instrumentos).

Si hubiera un esfuerzo realmente serio por volver transversal la política ambiental en México, habría también propuestas para extender el SCN hacia las dimensiones física y espaciales. En la Comunidad Europea de Naciones y otros países donde se han instrumentado programas de integración de políticas ambientales se ha vuelto un requerimiento urgente la integración de los sistemas contables, verticalmente mediante políticas temáticas y horizontalmente a nivel

sectorial (producción y consumo), para con ello poder identificar las actividades que más contribuyen en la generación de impactos ambientales.

En consecuencia, teniendo en mente un proceso de evaluación o CEA, se definió un problema de atribución (PA_t) en el interés de ofrecer un instrumento para ayudar a resolver problemas de conflictividad ambiental entre espacios económicos y se resuelve un PA_t dando respuesta a la pregunta esencial: ¿Cómo identificar y cuantificar cargas o responsabilidades por la generación de presiones ambientales entre los distintos espacios económicos del territorio nacional? Así, en un marco analítico como el propuesto, un PA_t adquiere toda su relevancia porque aporta los elementos complementarios para negociar el conflicto ambiental sobre bases más razonables; aporta un cúmulo de información y datos procesados que de otra manera no se disponen: transversalidad el tiempo y el espacio.

La estructura analítica es del tipo *input-output*, la cual permite describir un SE que asocia o atribuye flujos físicos (recursos naturales y desechos) a actividades económicas espacialmente localizadas. En ella es posible convertir un PA_t en un proceso evaluable cualitativa y cuantitativamente. Nuestro marco analítico es compatible con el marco unificado propuesto por Heijungs (2001), en el cual es posible obtener respuestas en tres niveles de decisión: *a)* intervención ambiental que resulta de las actividades económicas de producción y consumo; *b)* impactos ambientales que las presiones inducen en los sistemas ambientales (SA), y *c)* el 'Problema ambiental', que se define en términos del grado de severidad de los impactos que lo conforman.

Los requerimientos de información son enormes y no disponibles hoy, pero siempre es benéfico disponer de referentes por alcanzar en el largo plazo, porque las decisiones de hoy deben tener una dirección. Cualquier avance en la elaboración de aplicaciones, por ejemplo, para el caso nacional serían necesarias tantas tablas I-O, consistentes nacional y sectorialmente, como regiones conformen el territorio. Este sistema contable habría de extenderse con un conjunto de cuentas ambientales de dos tipos: uso de recursos y generación de contaminantes. Tales bases de información no están aún disponibles en México, ni siquiera para el agregado nacional, pero hacia allá se podría caminar.

Turner y Lenzen (2007) identifican tres problemas básicos para el caso en que las regiones son naciones, y que impiden la aplicación de un marco interregional completo de este tipo. Estos problemas son: *i)* de disponibilidad de datos, principalmente en términos de flujos de mercancías (productos) intercambiados entre sectores de las diferentes regiones; *ii)* la reconciliación de fuentes de información, y *iii)* computabilidad en particular debido a problemas en el balance de datos (Lenzen *et al.*, 2004).

Conclusiones y recomendaciones

En la mayoría de los países del mundo, como en México, la planeación económica regional ha sido el instrumento por excelencia para "equilibrar" diferencias estructurales, dinámicas de crecimiento y niveles de bienestar de aglomeraciones espaciales intermedias entre la Federación y los estados. De ninguna manera es un instrumento de política eliminado de las estrategias de desarrollo, se reforma y se mantiene como propuesta de política pública, aunque sigue sin aterrizar a escala regional por la escasez de instrumentos adecuados para operar programas, se queda en el plano de la retórica gubernamental (Madrigal, 2002). Más aún, en tal visión de desarrollo económico está ausente la perspectiva de sustentabilidad ambiental.

Alcanzar metas de desarrollo sustentable sin planeación ambiental es un escenario difícil de concretar. Aunque se debe pensar en una estrategia de planeación ambiental que no interfiera con políticas ambientales de orientación de mercado, en la medida que buenos diseños de política pública deben contribuir siempre a definir mejor, institucionalmente, los límites de un sistema de mercados y de la actividad humana en general. Porque la planeación contribuye a amortiguar efectos de incertidumbre en las decisiones individuales y colectivas, como las asociadas a derechos de propiedad, e influiría en la reducción de los llamados costos de transacción.

Como se ha destacado, la planeación ambiental física y espacial requiere de un sistema de contabilidad de flujos y acervos físicos (espacializados) para mejorar el control o gobierno de los procesos de interdependencia SE-SA, reduciendo la incertidumbre. Luego entonces, un sistema de planeación física (y espacial) tendría las características generales siguientes:

1. Un modelo que permita analizar procesos de interdependencia SE-SA, que incorpore al análisis los cambios en las variables de flujos y acervos físicos (control).
2. Conformar un sistema social de señales dentro del cual están los precios y las señales físicas correspondientes, para regular las variaciones en los flujos y acervos físicos.
3. Creación de un sistema de contabilidad física, compatible con el SCN, para que los nexos con las actividades de producción y consumo estén ancladas a los flujos físicos que inducen.
4. Diseño de indicadores como el IRA sería fundamental para distribuir responsabilidades, constitución de fondos ambientales por región y base para asignar recursos y compensaciones económicas regionales.

5. Creación de instituciones, entre ellas una autoridad regional de gestión ambiental que mejore el gobierno o control de los flujos y acervos físicos de los espacios regionales de interés.

Sin esto no sería posible construir análisis de escenarios para el diseño y evaluación de estrategias de desarrollo regional sustentable en México.

Referencias

Bastianoni, S., F. M. Pulselli and E. Tiezzi (2004), "The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions", *Ecological Economics*, 49, pp. 253-257.

Bringezu, S. and H. Schütz (2001), *Material use indicators for the European Union, 1980-1997. Economy-wide material flow accounts and balances and derived indicators of resource use*, EUROSTAT Working Paper, No. 2/2001/B/2, Wuppertal Institute.

Carraro, C. and D. Siniscalco (1998), "International environmental agreements: incentives and political economy", *European Economic Review*, 42(3-5), pp. 561-572.

EEA (2005), *The European Environment State and Outlook 2005*, European Environment Agency, Copenhagen.

EUROSTAT (1999), *Toward environmental pressure indicators for the EU*, Luxemburg.

EUROSTAT (2001), "Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide", *Office for Official Publications of the European Union*, Luxembourg.

EUROSTAT (2004), "A selection of environmental pressure indicators for the EU and acceding countries", *Statistical Office of the European Union*, Luxembourg.

Ferng, J. J. (2003), "Allocating the responsibility of CO_2 overemissions from the perspectives of benefit principle and ecological deficit", *Ecological Economics*, 46, pp. 121-141.

Finus, M. (2001), *Game Theory and International Environmental Cooperation*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.

Fiorillo, F., A. Palestrini, P. Polidori and C. Socci (2007), "Modelling water policies with sustainability constraints: a dynamic accounting analysis", *Ecol. Econom.*, 63, pp. 392-402.

Gallego, B. and M. Lenzen (2005), "A consistent input-output formulation of shared consumer and producer responsibility", *Economic Systems Research*, 17(4), pp. 365-391.

Hamilton, C. and H. Turton (2002), "Determinants of emissions growth in OECD countries", *Energy Policy*, 30, pp. 63-71.

Heijungs, R. (2001), *A theory of the environment and economic systems. A unified framework for ecological economic analysis and decision support*, Advances in Ecological Economics, Ed. Edward Elgar.

Lenzen, M., L. – L. Pade and J. Munksgaard (2004), "CO2 multipliers in multi-region input-output models", *Economic Systems Research*, 16(4), pp. 391-412.

Lanzen, M., M. Wackernagel, B. Lauck and P. Wermer (2005), *The ecological footprint of the State of Victoria*, University of Sideney, Global footprint network and Environment protectionAuthority, Victoria, disponible en www.epa.vic.gov.au/eco-footprint.

Lanzen, M., J. Murray, F. Sack and T. Wiedmann (2007), "Shared producer and consumer responsability – Theory and practice", *Ecological Economics*, 61, pp. 27-42.

Leontief, W. (1970), "Environmental repercussions and the economics structure: an input-output approach", *Review of Economic Statistics*, 52, pp. 262-277.

Madrigal, J. A. (2002), "El nuevo modelo de desarrollo regional", *Rev. El Mercado de Valores*, núm. 3, (marzo), año LXII, Nacional Financiera, México.

McGregor, P. G., J. K. Swales and K. Turner (2004a), *The environmental 'trade balance' between Scotland and the rest of the UK: an inter-regional input-output and SAM analysis*, mimeo, Strathclyde Discussion Papers in Economics, 0421, disponible en www.economics.strath.ac.uk/Research/Discussion_papers/.

McGregor, P. G., J. K. Swales and K. R. Turner (2004b), *An Input-Output Based Alternative to 'Ecological Footprints' for Tracking Pollution Generation in a Small Open Economy*, mimeo, Strathclyde Papers in Economics, 04/04, disponible en www.economics.strath.ac.uk/Research/Discussion_papers/.

Peters, G. and E. Hertwich (2004), "Production factors and pollution embodied in trade: theoretical development", *Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), NO-7491 Trondheim, Norway*, December, disponible en www.indecol.ntnu.no.

Peters, G., T. Briceno and E. Hertwich (2004), "Pollution embodied in Norwegian consumption", *Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)*, NO-7491 Trondheim, Norway, December, disponible en www.indecol.ntnu.no.

Props, J. L. R., G. Atkinson, B. F. Schlotheim and S. Simon (1999), "International trade and the sustainability footprint: a practical criterion for its assessment", *Ecol. Econom.*, 28, pp. 75-97.

Rodrígues, J., T. Domingos, S. Giljum and F. Schneider (2006), "Designing an indicator of environmental responsibility", *Ecological Economics*, 59, pp. 256-266.

SEEA (2003), Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting. United Nations; European Commision, International Monetary Fund, Organization for Economic Co-operation and Development, World Bank.

SNA (1993), Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting. United Nations; European Commision, International Monetary Fund, Organization for Economic Co-operation and Development, World Bank.

Strømman, A. H. and A. Gauteplass (2004), *Domestic fractions of emissions in linked economies*, Norwegian University of Science & Technology, Department of Energy and Process Technology, Industrial Ecology Programme, disponible en www.indecol.ntnu.no.

Szyrmer, J. M. (1992), "Input-output coefficients and multipliers from a total-flow perspective", *Environment and Planning*, 24, pp. 921-937.

Turner, K. and M. Lenzen (2007), "Examining the global environmental impact of regional consumption activities – Part 1: A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis", *Ecological Economics*, 62, pp. 37-44.

United Nations (2003), *Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting 2003*, United Nations, European Commission, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, World Bank.

Weber, J. L. (2006), "Implementation of land and ecosystem accounts at the European Environment Agency", *Ecological Economics*, doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.05.023.

Wiedmann, T., M. Lenzen, K. Turner and J. Barrett (2007), "Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities – Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade", *Ecological Economics*, 61, pp. 15-26.

Wier, M., M. Lenzen, J. Munksgaard and S. Smed (2001), "Environmental effects of household consumption pattern and lifestyle", *Economic Systems Research*, 13(3), pp. 259-274.

Calidad o salud del suelo: conceptos, indicadores y aplicación en agricultura

Jorge D. Etchevers B.
Claudia Hidalgo M.
Miguel Á. Vergara S.
María A. Bautista
Juliana Padilla C.
Colegio de Postgraduados, Edafología, Campus Montecillo, México

Silvia Pajares M.
Juan F. Gallardo L.
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, IRNASA, Salamanca, España

Introducción

La mayoría de los ecosistemas terrestres se encuentran cubiertos por lo que llamamos suelo. El suelo es parte de la Pedosfera. Esta última es una estructura que anida a todos los ecosistemas terrestres. La pedosfera se ubica estratégicamente en el punto de intersección de las cuatro grandes esferas que le dan origen: la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la litosfera (Figura 1). Los elementos fundamentales asociados a estas cuatro esferas (sólidos, gases, agua, organismos), se encuentran tan íntimamente mezclados, que se hace difícil su separación. Además de los elementos indicados en la pedosfera, hay otros nuevos elementos que son el resultado de las interacciones gestadas entre éstos a lo largo de miles de años. Entre ellos se pueden mencionar: la materia orgánica, los minerales secundarios arcillosos y no arcillosos, enzimas, estructura, etc.).

Entonces, la pedosfera puede ser visualizada como la capa externa de la litosfera (capa externa rocosa de la tierra, sólida, que se diferencia del centro de ésta) donde ocurren los procesos de formación de suelo (Eionet, 2007).

El suelo es un componente de la pedosfera y la parte que concita la atención principal de este trabajo. El suelo se caracteriza por ser biológicamente activo –un elemento relacionado con la biosfera– estructurado, poroso, que integra y disipa

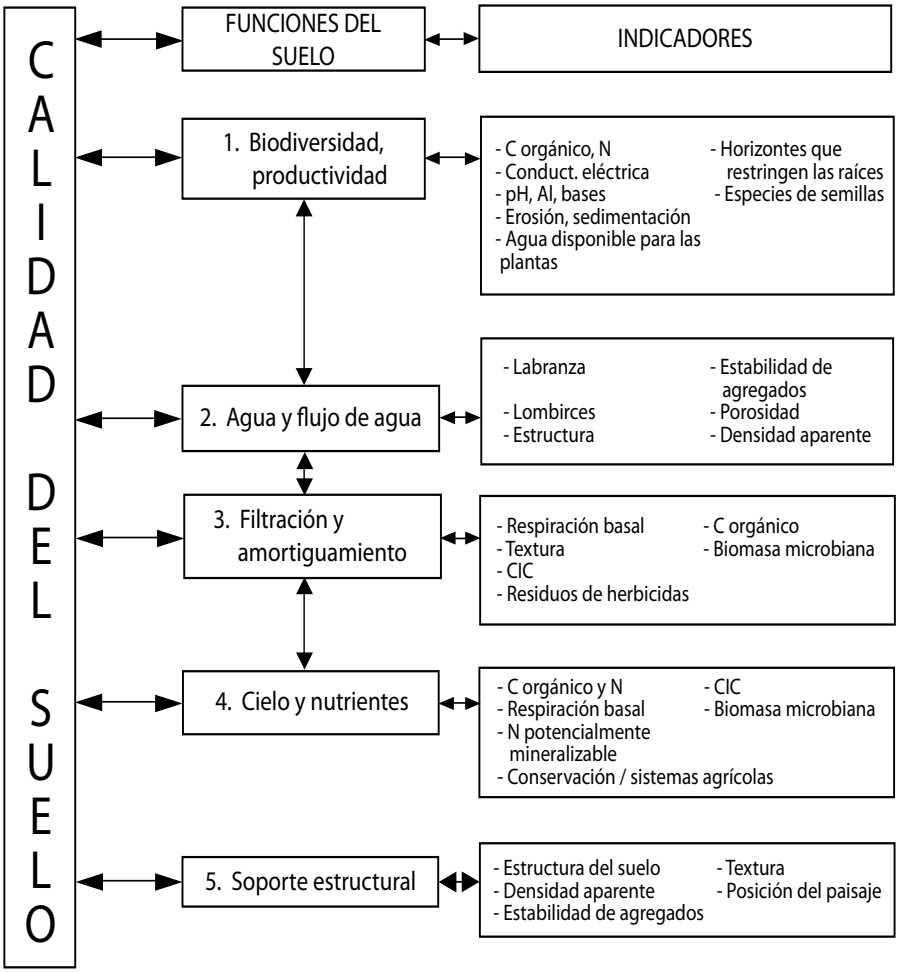


Figura 1. Las cuatro esferas fundamentales constitutivas de la pedosfera.

flujos de masa (agua, aire) y energía (calor) –estos últimos relacionados con la hidrosfera y la atmósfera que se autoregula (Sumner, 2000).

Uno de los aspectos más relevante de la pedosfera y el suelo, es que soportan las ecosferas, esto es, los ecosistemas naturales, no intervenidos por los seres humanos, que los diferenciaremos de la agrosfera o agroecosistemas, que son ecosistemas profundamente modificados por éstos, mediante la adición de

energía externa, por la labranza constante, la aplicación de fertilizantes, el riego, aplicación de pesticidas y el establecimiento de cultivos, todo lo cual significa un cambio entrópico en el sistema.

Los ecosistemas naturales y los agroecosistemas tienen tres componentes principales comunes. Todos ellos se caracterizan por tener algún tipo de cubierta vegetal; un sustrato, es decir, el suelo donde éstas se desarrollan y, finalmente, estos dos componentes interaccionan estrechamente con la atmósfera para generar una producción primaria. Un componente adicional de los agroecosistemas, que constituyen en conjunto la agrosfera, es el hombre, que toma decisiones que se traducen en lo que se llama manejo, una característica casi siempre ausente en los ecosistemas naturales que son absolutamente autoregulados.

Tomando en cuenta lo anterior se concluye, la agrosfera y sus agroecosistemas deben visualizarse como ecosferas con influencia humana. Tal intervención modifica tan profundamente las ecosferas (que son las manifestaciones naturales) y sus componentes, que las ecosferas intervenidas deberían ser estudiadas de manera independiente, ya que constituyen sistemas demasiados grandes como para que no sean consideradas entidades ecológicas independientes, con características propias.

De los tres componentes principales de las ecosfera y agrosfera, el que interesa explorar con mayor profundidad es el suelo, en particular, en lo referente a su calidad, un concepto que se abordará más adelante, pero antes de ello se hará un análisis más profundo del concepto suelo.

Existen un gran número de definiciones para referirse a dicho componente de los ecosistemas, mismas que se relacionan con las múltiples funciones y servicios que presta a la humanidad o lo que es lo mismo su multifuncionalidad.

Para la mayoría de los agrólogos, el suelo es un cuerpo natural, tridimensional, generalmente con límites definidos, constituido por horizontes de material mineral u orgánico, que contiene organismos vivos y puede sostener vegetación (*Soil Survey Staff*, 1996). Para otros, simplemente es una cubierta muy delgada, frágil que recubre las formaciones geológica de la tierra, intemperizadas o parcialmente intemperizadas (Sumner, 2000), y para otros más es la parte superior de la superficie de la tierra compuesta de partículas de rocas desintegradas, material húmico, agua y aire, ignorando los aspectos bióticos. Obsérvese que en estas definiciones no hay relación alguna con la funcionalidad del recurso.

Por ello las definiciones anteriores no satisfacen los puntos de vistas de ecólogos, los especialistas en agricultura, forestería, hidrólogos, expertos en paisajismo, aun de ingenieros ambientales, para los que el suelo es mucho más que una cubierta inerte de la tierra. El hecho de que el suelo proporcione un medio para

que se produzcan alimentos, fibra, materias primas para la industria, que contribuya a que se tenga agua limpia, que sea el hábitat de una parte importante de la biodiversidad del planeta, o sirva como medio para que se descompongan los residuos orgánicos producto de la fotosíntesis y sea un elemento importante para la detoxificación de residuos urbanos e industriales, y que aparte proporcione paisajes placenteros y satisfacción estética, hace del suelo un componente de los ecosistemas mucho más complejo que las definiciones arriba señaladas.

El suelo de los ecosistemas naturales y de la agrosfera, no es exclusivamente roca ni sedimento geológico, son alteraciones de ambos provocadas por factores geológicos, topográficos, climáticos, físicos, químicos y biológicos; es una entidad viva, compuesta por una asociación de partículas inorgánicas o minerales unidas, casi inseparablemente, por materia orgánica y perfusada por gases, que cuando es humedecido se transforma en sustrato fértil que el permite desarrollo de vida, y el agua que contiene, es solvente y conductora de nutrientes y un constituyente vital de toda forma de vida (Sumner, 2000). Desde un punto de vista de valor y de la economía, el suelo forma parte del capital natural de que dispone la humanidad, esto es, del conjunto de recursos naturales suelo, agua, atmósfera, bosques y vida silvestre, para el cual no se ha tenido que hacer ninguna inversión para disponer de él. De este capital natural depende la existencia de la especie humana y de la vida.

Se sabe que son las interacciones positivas entre este capital natural y los capitales humanos, sociales y manufactureros los que administrados correctamente, aseguran el desarrollo armónico de una sociedad. Por ello es que el componente suelo de los ecosistemas (ecosfera) y de los agroecosistemas (agrosfera) es fundamental para el bienestar de la humanidad, y por ello, la urgencia de asegurar su cuidado, particularmente porque existe la percepción generalizada entre los científicos, así como entre los usuarios, que la calidad del suelo está declinando.

¿Qué asegura el buen funcionamiento de un suelo, por muchos siglos por venir? El funcionamiento de un suelo está asegurado si logramos que las intervenciones antrópicas, que juzgamos necesarias para que cumpla ciertas funciones, se hagan dentro de límites que no provoquen demasiados cambios en su entropía. Como las funciones del suelo son múltiples, el análisis de tales cambios debe realizarse dentro del marco de la función específica que se desempeña. Esto nos lleva a pensar que un suelo puede exhibir diferentes calidades, en función del manejo o trato a que haya sido sometido por los seres humanos o por las propias condiciones naturales, y a aceptar que existe algo que se puede llamar calidad de suelo. Este concepto no es simple, requiere de una explicación más alta. Es un juicio común que hay una relación, por ejemplo, entre la productividad del suelo,

ya sea de un ecosistema natural o de un agroecosistema y su calidad. Más aún, la calidad del suelo puede ser incrementada o degradada.

Si se analizan en específico las funciones del suelo a que se hace referencia, habría que mencionar las siguientes: *a)* sostenimiento de la actividad biológica, la diversidad y la productividad; *b)* regulación y distribución del agua y los flujos de solutos; *c)* almacenamiento y reciclaje de nutrimentos y otros elementos en la biosfera; *d)* filtración, amortiguación, degradación, inmovilización y desintoxicación de materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo productos industriales y municipales y depositaciones atmosféricas; *e)* proveedor de soporte para estructuras socioeconómicas y protección para restos arqueológicos; *f)* preservador de una cierta estructura interna, caracterizada por una gran diversidad de tamaños de poro y superficies, que permiten los flujos de gases y agua, necesarios para la vida microbiana; *g)* y de una resistencia estructural, al viento, lluvia; *h)* amortiguador de cambios bruscos de temperatura, humedad y concentración de materiales potencialmente tóxicos, e *i)* elemento que distribuye la energía recibida en su superficie, la cual es importante en los procesos circulatorios globales.

Como nuestro interés fundamental está centrado en las funciones ecológicas y productivas del suelo, es oportuno en este punto establecer las diferencias que existen entre la ecosfera natural y la agrosfera, ya que la calidad del suelo debe ser enjuiciada en función de las principales funciones que cumple el ecosistema del cual el suelo forma parte.

Entre estas diferencias se pueden mencionar: *a)* la estacionalidad; *b)* los "*flushes"* de vegetación; *c)* la aparición de enfermedades; *d)* la productividad; *e)* el riego, y *f)* eventos que ocurren después de las cosechas, entre otros. La estacionalidad se refiere a la temporalidad de las presiones que se ejercen sobre el suelo. En los agroecosistemas de regiones áridas, por ejemplo, éstas están concentradas en periodos cortos coincidentes con la estación de lluvia o con los riegos y, en general, son más intensas en los periodos de rápido crecimiento de las plantas; en contraste, en los ecosistemas naturales tropicales los periodos de presiones están mejor repartidos y son fuertemente dependientes de la disponibilidad de agua en el sistema. Lo anterior está estrechamente relacionado con la *flushes* de vegetación.

Concepto de calidad de suelo

La calidad, en general, se define como un atributo o conjunto de atributos inherentes a alguna cosa, mismo(s) que permite(n) comparar dicha cosa con otra, y

decidir si es igual, mejor o peor que los restantes individuos que constituyen su especie.

En el caso específico de la calidad de suelo, y en concordancia con lo señalado anteriormente, se puede decir que es un atributo o grupo de atributos de éste, que refleja su habilidad para cumplir con las funciones que interesa evaluar (Larson y Pierce, 1994) o que dan alguna medida de su capacidad para funcionar en ese ámbito (Seybold *et al.,* 1997). En otras palabras, es la capacidad de una clase específica de suelo que funciona dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, para sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o aumentar la calidad del agua y el aire, y sostener la salud y el hábitat humano (Karlen, 1997) o realizar otras de las funciones mencionadas más arriba.

La evaluación de calidad de un objeto cualquiera y de la del suelo raramente es posible hacerla mediante la selección de un atributo único, se acostumbra a evaluarla mediante indicadores y con ellos se pueden construir índices. Se debe entender por indicadores ciertos instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, y que se usan en múltiples campos del conocimiento (Adriaanse, 1993). Uno de estos fenómenos complejos es la calidad del suelo.

Los indicadores de calidad de suelo deben permitir: *a)* analizar la situación actual del suelo con base en la función específica que se evalúa; *b)* identificar los puntos críticos respecto de su sustentabilidad; *c)* prever ex-antes los impactos de una intervención; *d)* minimizar los impactos de una intervención, y *e)* ayudar en la toma de decisiones. Esto es, generar información que permita colegir en qué grado el suelo está cumpliendo con las funciones que se le han asignado o la extensión en que el suelo funciona en beneficio de los seres humanos.

Se señaló que los indicadores deben ser seleccionados en concordancia con la función que se aspira a evaluar. Y como raramente un suelo proporciona todas las funciones señaladas simultáneamente, se deben manejar indicadores para diferentes funciones, esto es: *a)* sostén de la actividad biológica, la diversidad y la productividad; *b)* regulación y partición de flujos de agua y de aire, *c)* filtrado, amortiguamiento, inmovilización y detoxificación de productos orgánicos e inorgánicos; *d)* almacenaje y reciclado de nutrientes; *e)* soporte a estructuras socioeconómicas, entre otros. Por lo general, se aspira a contar con un grupo mínimo de indicadores que permita hacer la evaluación. A este conjunto de indicadores se le llama MDS, por sus siglas en inglés (*minimum data set*).

Los indicadores de calidad de suelo seleccionados para integrar un MDS deben cumplir con varias funciones, mismas que se listan a continuación. En primer lugar, tienen que ser atributos o propiedades que integren características

y procesos de índole físico, químico o biológico que ocurren en el suelo y cuyo cambio sea lo suficientemente sensible y rápido para poder ser medidos cuantitativamente por métodos sencillos, o aun apreciados de manera cualitativa, y en el corto plazo. En la Tabla 1 se muestra una lista de los tiempos de cambios de algunas propiedades del suelo (Arnold *et al.,* 1990) Estas características y procesos deben ser descriptores de fenómenos que ocurren en todo un ecosistema (natural o alterado o agroecosistema). Tienen, además, que ser fáciles de medir o estimar y, particularmente, ser reproducibles. Los atributos o propiedades seleccionados deben ser aplicables a un amplio intervalo de ecosistemas o agroecosistemas y deben ser entendibles para un gran número de condiciones culturales y socioeconómicas.

Tabla 1. Tiempo de cambio de algunas propiedades del suelo (Arnold *et al.,* 1990)

Tiempo de cambio	Propiedades del suelo
$< 10^{-1}$ años	Densidad aparente
	Porosidad
	Contenido de humedad
	Tasa de infiltración
	Permeabilidad
	Composición de la atmósfera del suelo
	Contenido de nitratos
10^{-1} a 10^{0} años	Capacidad de campo
	Conductividad hidráulica
	pH
	Estado nutrimental
	Composición de la solución del suelo
10^{0} a 10^{1} años	Acidez del suelo
	CIC
	Iones intercambiables
	Composición iónica de extractos

Los indicadores físicos que se han empleado en evaluaciones de la calidad de suelo están relacionados, por un lado, con propiedades que reflejan cómo el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas; y, por otro lado, a condiciones

que pudiesen limitar el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y el movimiento del agua dentro del perfil. Ejemplo de estas propiedades o condiciones son: la estructura del suelo, la profundidad del mismo, la velocidad de infiltración del agua, la densidad aparente, la compactación, la capacidad de almacenamiento de agua, la conductividad hidráulica, la estabilidad de los agregados, la resistencia a la erosión y la pendiente (Karlen *et al*., 1997).

Entre las propiedades químicas comúnmente mencionadas como indicadores de esta naturaleza, se mencionan aquéllas que inciden en la relación suelo-planta; la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de nutrimentos y plantas. Algunas características que se pueden indicar como ejemplos son: la reacción del suelo (pH), la conductividad eléctrica del agua y del suelo, un indicador a su vez de la cantidad de sales presentes en esos sistemas, estimadores de los contenidos totales o de la disponibilidad (fracciones solubles, intercambiables, extractables, fijadas, mineralizables) de nitrógeno, fósforo, potasio, carbono orgánico, carbono orgánico lábil, capacidad de intercambio de cationes y adsorción de fósforo y micronutrientes extraíbles entre otros (Doran y Parkin 1994; Larson y Pierce, 1991).

Los atributos biológicos frecuentemente reportados como indicadores de calidad son: la presencia o las poblaciones (número de organismos formadores de colonias o actividad enzimática asociada a ellos) de organismos que descomponen la materia orgánica del suelo, la de aquéllos que reciclan los nutrimentos, la de los que se asocian con las plantas para beneficiarse mutuamente o sirven para degradar residuos tóxicos, los que efectúan algún tipo de control biológico de plagas y enfermedades, los que contribuyen a la formación de la estructura del suelo (raíces y micorrizas) o los que controlan la disponibilidad de los nutrientes esenciales para la planta y los microorganismos (Luo y Zhou, 2006).

En la Figura 2 se muestra la relación entre las funciones del suelo y los indicadores más comunes presentada por Seybold *et al.* (1997) y en la Tabla 2 se encuentra un ejemplo de los indicadores de calidad de suelo y los procesos que serían afectados.

Una pregunta que suele hacerse con frecuencia a los especialistas en edafología es ¿por qué es necesario buscar indicadores de calidad del suelo, en especial en el caso de la agrosfera? La respuesta para esta última situación es simple.

En primer lugar, porque en el último siglo hubo, y aún continúa, un aumento explosivo de la población que demanda cada vez más alimentos y de buena calidad, lo que aunado a la adopción de prácticas empresariales (que exigen la generación de utilidades) por los productores, determinaron que el suelo esté sometido a prácticas más intensivas de laboreo en tiempo y espacio. Un segundo

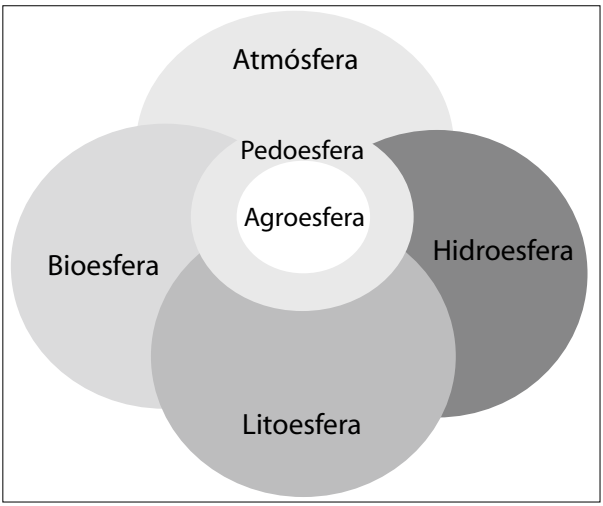


Figura 2. Relación entre las funciones del suelo y los indicadores más comunes, presentada por Seybold *et al.* (1997).

Tabla 2. Indicadores de calidad de suelo y procesos afectados (adaptado de Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold *et al.,* 1997)

Indicador	Proceso afectado
Materia orgánica	Reciclado de nutrientes, retención de agua y pesticidas, agregación y estructuración del suelo.
Infiltración	Escurrimiento superficial, lixiviación de nutrientes, eficiencia de uso del agua y erosión.
Agregación	Estructuración, respiración, erosión, emergencia e infiltración.
Reacción del suelo (pH)	Disponibilidad de nutrientes, absorción y movimiento de pesticidas.
Biomasa microbiana	Actividad biológica, reciclado de nutrientes y degradación de pesticidas y otros tóxicos.
Formas de nitrógeno	Disponibilidad de nitrógeno, lixiviación de minerales, mineralización e inmovilización.
Densidad aparente	Penetración de raíces, espacio poroso, actividad biológica.
Profundidad-horizonte superficial	Volumen de enraizamiento, disponibilidad de agua y nutrientes.
Salinidad (CE)	Infiltración de agua, crecimiento de los cultivos, estructura.
Disponibilidad nutrientes	Capacidad para mantener el crecimiento, peligro ambiental.

aspecto que puede ser mencionado, es que como consecuencia de lo anterior se han incorporado a producción agrícola, ganadera o de materias primas, tierras que eran clasificadas como marginales. Éstas son frágiles y de baja resiliencia, lo cual determina una rápida pérdida de sus propiedades y una pérdida de la sustentabilidad que tenían en su condición original. En el caso de los ecosistemas naturales también ocurren procesos degradativos, causados por procesos naturales o antropogénicos. La captación en etapas tempranas de los cambios que finalmente conducirán a la degradación es la razón de contar con estos indicadores de cambio.

En la Figura 3 se presenta, a modo de resumen, una de las posibilidades con que se cuenta para interpretar el significado que tiene la medición de una serie de atributos del suelo realizada en un terreno de cultivo en pendientes elevadas, situación que hace que la susceptibilidad a la degradación sea mayor y esta última ocurra de manera rápida.

Como se puede apreciar en dicha figura, los suelos cultivados en terrenos de ladera con alta pendiente (> 30%) de esa localidad particular, muestran un gran grado de desbalance, con respecto a lo que en función de la experiencia de los expertos se juzgó como ideal.

Un enfoque alternativo para obtener indicaciones de la calidad del suelo lo provee la evaluación cualitativa, que aun siendo subjetiva se puede hacer con menos recursos, y algunas veces puede resultar más informativa para los agricultores (Romig *et al.,* 1995; Seybold *et al.,* 1997). Ejemplo de indicadores cualitativos son la formación de costras, el estancamiento de agua, la cobertura y vigor de la vegetación, así como otras características que pueden revelar posibles cambios en la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992). Ejemplos de indicadores cualitativos se muestran en la Tabla 3.

Acton y Gregorich (1995) señalaron que los productores estadounidenses identificaron como suelos saludables a aquéllos que eran más profundos y obscuros, fáciles de arar, aquéllos otros que permitían realizar las labores de cultivo más temprano en primavera, que absorbieran y retuvieran más agua, que se secaran más pronto, que la descomposición de los residuos de los cultivos ocurriera más rápidamente en el otoño, que tuvieran contenidos más altos de materia orgánica y menor erosión, que el número de lombrices y su tamaño fuera elevado, que el olor que desprendieran fuera dulce y a aire fresco, que los requerimientos de fertilizantes fueran inferiores a la media, que el trabajo con los tractores fuera más fácil, que el rendimiento de los cultivos fuera más alto y los problemas con insectos y enfermedades menores, y las semillas de los cultivos producidos fueran de mejor calidad.

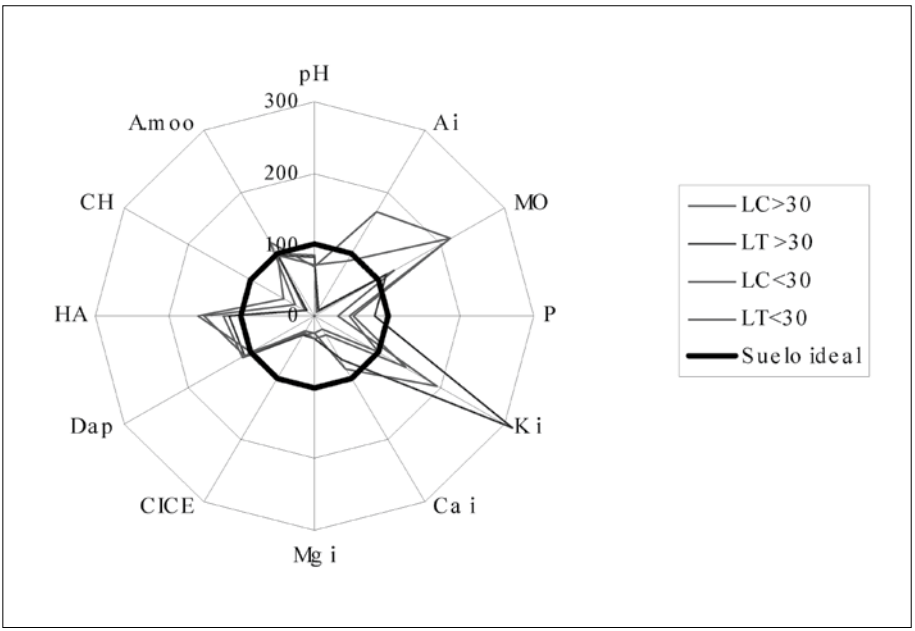


Figura 3. Diagrama de "amiba" donde se compara el estado de un suelo ideal (círculo negro central) con la situación real de terrenos con labranza de conservación recién instaurada (LC) y labranza tradicional o convencional (LT). Los valores de los ejes son relativos a asignado al suelo ideal (100). Ai=acidez intercambiable, MO=materia orgánica, P=fósforo extraíble con $NaHCO_3$ 0.5 M pH 8.5, Ki, Cai, Mgi=potasio, calcio y magnesio intercambiable en acetato de amonio 1N pH7, CICE=capacidad de intercambio de cationes efectiva, Dap=densidad aparente, HA=humedad aprovechable, CH=conductividad hidráulica y Amoo=actividad de los microrganismos.

En la Sierra Norte de Oaxaca, los productores tradicionales que cultivan maíz en suelos de ladera, señalaron como características deseables de un suelo de calidad el que permitiera diversos cultivos, que fuera fácil de labrar, poroso, que los terrones húmedos se deshicieran con las manos, que retuviera agua, que no se erosionara, que tuviera color oscuro, que requiriera poca fertilización y que los cultivos sembrados presentaran un aspecto vigoroso (Vergara, 2003).

Los criterios de calidad cualitativos se seleccionan de entre los señalados por los agricultores y permiten pasar del conocimiento empírico al conocimiento científico.

En resumen, se puede concluir que los indicadores de calidad del suelo son herramientas útiles para establecer el estado actual o para medir el cambio de ca-

Tabla 3. Indicadores cualitativos para evaluar la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992)

Características observables	Posibles causas
Encostramiento: superficie sellada	Pérdida de materia orgánica, de agregación, baja conductividad hidráulica, alto contenido de arcilla dispersable
Piedras sobre la superficie, raíces expuestas	Erosión hídrica
Dunas de arena, cobertura arenosa sobre la superficie del suelo, daño vegetal, marcas onduladas	Erosión eólica
Encostramiento salino sobre la superficie; plantas tolerantes a sales	Salinización
Naturaleza de la costra -húmeda y obscura -cristalina fina -obscura	 $MgCl_2$, $CaCl_2$ NaCl, Na_2SO_4 Na_2CO_3
Plantas ácidas tolerantes, carencia de respuesta a los fertilizantes	Acidificación, degradación química del suelo
Agua estancada, parcelas con cultivos pobres e irregulares	Drenaje pobre, estructura compacta/panes endurecidos

lidad que experimenta un suelo y que éstos indicadores constituyan, cuando son adecuadamente seleccionados, alertas tempranas de las direcciones que pueden tomar ciertos atributos básicos de un suelo sometido a cualquier tipo de alteración antropogénica y o alteraciones naturales. Un aspecto que es preciso resaltar, es la necesidad de definir claramente el patrón de comparación que se utilizará como estándar, porque éste puede hacer que los resultados de los indicadores difiera (*Ibid.*).

Referencias

Acton, D. F. and L. J. Gregorich (1995), "The health of our soils toward sustainable agriculture in Canada", *Agriculture and Agri-Food Canada,* Centre of Land and Biological Resources Research, Research Branch, Ottawa, Ont.

Adriaanse, A. (1993), *Environmental Policy Performance Indicators. A study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands,* Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.

Arnold, R. W., I. Szabolcs and V. O. Targulian (1990), *Global soil change*, IIASS-ISSS-UNEP, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Arshad, M. A. and G. M. Coen (1992), "Characterization of soil quality: physical and chemical criteria", *Am. J. Altern. Agr.*, 7, pp. 25-31.

Astier, C. M., M. Mass-Moreno y J. Etchevers B. (2002), "Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable", *Agrociencia*, núm. 36, pp. 605-620.

Bautista, A. (2001), *Indicadores de calidad del suelo en tres cronosecuencias de bosque mesófilo, Sierra Norte, Oaxaca*, tesis de Maestría en Ciencias, IRENAT, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Bautista, A., J. Etchevers B., R. F. del Castillo y C. Gutiérrez (2004), "Calidad del suelo y sus indicadores", *Ecosistemas* 2004/2 (URL: http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm).

Bezdicek, F. D., R. I. Papendick and R. Lal (1996), "Introduction: importance of soil quality to health and sustainable land mangement", *Methods for assessing soil quality*, *Soil Sci. Soc. Am.* Special publication 49.

Brady, C. N. and R. R. Weil (1999), *The Nature and properties of soils,* Prentice Hall, USA, pp. 1-3, 56.

Brinkman, R. (1997), "Land quality indicators: aspects of land use, land, soil and plant nutrients", in FAO, 1997, Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development, *Land and Water Bull.* 5, FAO, Rome, Italy.

Campos, C. A. (2002), *Diagnóstico de la degradación de suelos de origen volcánico, región Cofre de Perote*, tesis de Doctorado en Ciencias, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Carter, M. R., E. G. Gregorich, D. W. Anderson, J. W. Doran, H. H. Janzen and F. J. Pierce (1997), "Concepts of soil quality and their significance", in Gregorich, E. G. and M. Carter (eds.), *Soil quality for crop production and ecosystem health*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.

Doran, J. W., M. Sarrantonio and M. A. Liebig (1996), "Soil health and sustainability", in Sparks, D. L. (ed.), *Advances in Agronomy*, vol. 56, Academic Press, New York, pp. 1-54.

Doran, J. W. and B. T. Parkin (1994), "Defining soil quality for a sustainable environment", *Soil Sci. Soc. Am.*, Inc. Special Publication, no. 35, Madison, Wisconsin, USA.

Dumanski, J., S. Gameda and C. Pieri (1998), "Indicators of land quality and sustainable land management", *The World Bank,* Washington, D. C. (http://www.eionet.europa.eu/gemet/concept?langcode=en&cp=6094. Consultada en enero de 2007).

FAO (1997), "Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development", *Land and Water Bull.*, 5, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Goodland, R. and H. Daly (1996), "Environmental sustainability: universal and non-negotiable", *Ecol. Appl.*, no. 6, pp. 1002-1017.

Gregorich, E. G., M. R. Carter, D. A. Angers, C. M. Monreal and B. H. Ellert (1994), "Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils", *Can. J. Soil Sci.*, no. 74, pp. 367-386.

Halvorson, J. J., J. L Smith and R. I. Papendick (1996), "Integration of multiple soil parameters to evaluate soil quality: a field example", *Biol. Fertil. Soils*, no. 21, pp. 207-214.

Harris, R. F., D. L. Karlen and D. J. Mulla (1996), "A conceptual framework for assessment and management soil quality and health", in Doran, J. W., (ed.), *Methods for Assessing Soil Quality. Soil Sci. Soc. Am.*, Special publication, no. 49, Madison Wis., USA, pp. 61-82.

Hortensius, D. and R. Welling (1996), "International standardization of soil quality measurements", *Soil Sci. Plant Anal.*, no. 27, pp. 387-402.

Hünnemeyer, J. A., R. de Camino y S. Müller (1997), "Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica", *Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*, IICA/GTZ, San José, Costa Rica.

Karlen, D. L., S. S. Andrews and J. W. Doran (2001), "Soil quality: current concepts and applications", in Sparks, D. L. (ed.), *Advances in Agronomy*, vol. 74, Academic Press, New York, pp. 1-38.

Karlen, D. L., M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris and G. E. Schuman (1997), "Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation", *Soil Sci. Soc. Am.* J., no. 61, pp. 4-10.

Karlen, D. L., N. C. Wollenhaupt, D. C. Erbach, E. C. Berry, J. B. Swan, N. S. Each and J. L. Jordahl (1994), "Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn", *Soil Tillage Res.*, no. 31, pp. 149-167.

Larson, W. E. and F. J. Pierce (1991), "Conservation and enhancement of soil quality", in *Evaluation for sustainable land management in the developing world*, vol. 2, IBSRAM Proc. 12(2), *Int. Board for Soil Res. and Management*, Bangkok, Thailand.

Larson, W. E. and F. J. Pierce (1994), "The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management", in Doran, J. W., D. C. Coleman, D. F. Bezdiceck and B. A. Stewart (eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment*, Special Publication no. 35, *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin, pp. 37-51.

Luo, Y. and X. Zhou (2006), "Soil respiration and the environment", *Elsevier*, New York.

Lowdermilk, W. C. (1953), "Conquest of the land through Seven Thousand Years", *Agriculture Information Bulletin*, no. 99, USDA, Soil Conservation Service, Washington, D. C.

MacDonald, K. B., W. R. Fraser, F. Wang amd G. W. Lelyk (1995), "A geographical framework for assessing soil quality", in Acton, D. F. and L. J. Gregorich (eds.), *The health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada*, CLBRR, RB, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont. pp. 19-30.

Masciandaro, G. and B. Ceccanti (1999), "Assessing soil quality in different agro-ecosystems through biochemical and chemico-structural properties of humic substances", *Soil & Tillage Research,* no. 51, pp. 129-137.

Mausbach, M. J. and A. Tugel (1997), *Soil quality – a multitude of approaches*, Keynote address. Kerney Foundation Symposium, California soil quality: From critical research to sustainable management, March 25, Berkeley, Ca.

Parr, J. F., R. I. Papendick, S. B. Hornick and R. E. Meyer (1992), "Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture", *Amer. J. Altern. Agric.*, no. 7, pp. 5-11.

Romig, D. E., M. J. Garlynd, R. F. Harris and K. Mc Sweeney (1995), "How farmers assess soil health and quality", *J. Soil Water Conservation*, no. 50, pp. 229-236.

Seybold, C. A., M. J. Mausbach, D. L. Karlen and H. H. Rogers (1997), "Quantification of soil quality", in Lal, R., J. M. Kimble, R. F. Follet and B. A. Stewart (eds.), *Soil Process and the Carbon Cycle*, Press Inc. USA, pp. 387-403.

Singer, M. J. and S. Ewing (2000), "Soil quality", in Sumner, M. E. (ed.), *Handbook of Soil Science*, Chapter 11, CRC Press, USA.

Soil Survey Staff (1996), *Keys to Soil Taxonomy*, USDA, Eight Edition, USA.

Soil Survey Staff (1998), *Keys to Soil Taxonomy*, USDA, Eight Edition, USA.

Sojka, R. E and D. R. Upchurch (1999), "Reservations regarding the soil quality concept", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, no. 63, pp. 1039-54.

Sojka, R. E., D. R. Upchurch and N. E. Borlaug (2003), "Quality soil management or soil quality management: performance *vs.* semantics", in Sparks, D. L. (ed.), *Advances in Agronomy*, vol. 79, Academic Press Inc., pp. 2-53.

Sombroek, W. G. (1997), "Land resource evaluation and the role of land-related indicators", in FAO. 1997, Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development, *Land and Water Bull.* 5, FAO, Rome, Italy.

Sparling, G. P. (1997), "Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health", in Pankhurts, C. E., B. M. Doube and V. S. R. Gupta (eds.), *Biological Indicators of Soil Health*, Cab International, Printed in UK, pp. 97-105.

SQI-Soil Quality Institute (1996), "Indicators for soil quality evaluation", USDA Natural Resources Conservation Service, Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service.

Sumner, E. M. (2000), *Handbook of Soil Science*, CRC Press, New York.

Vergara S., M. A. (2003), *Identificación y selección de indicadores de calidad del suelo y sustentabilidad en sistemas naturales y agrícolas de ladera en Oaxaca*, tesis de Doctorado en Ciencias, IRENAT, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Wick, B., H. Tiessen and R. S. C. Menezes (2000), "Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil", *Plant and Soil*, no. 222, pp. 59-70.

Planeación agroambiental para el desarrollo regional sustentable: lineamientos para Sierra Nevada, Estado de México

Pablo A. Torres Lima
Luis M. Rodríguez Sánchez
Juan G. Cruz Castillo
Departamento de Producción Agrícola y Animal,
Universidad Autónoma Metropolitama, unidad Xochimilco

Introducción

En México, la comprensión y conocimiento de los cambios agroambientales que ocurren a nivel regional, hacia rutas de mayor sustentabilidad, implican no sólo mejorar el modelo de conceptualización del sistema mediante la medición y acumulación de más y mejores indicadores, sino involucrar el reconocimiento de modificaciones jerárquicas en los ámbitos del sistema socioeconómico, al cual los agroecosistemas regionales pertenecen, y del sistema biofísico o geoambiental. Se debe reconocer que dentro del sistema social tanto el nivel de presión demográfica, el producto interno regional generado por la agricultura y la relación oferta-demanda de alimentos son características de las sociedades regionales en donde existe mayor control humano y a la vez mayor dinámica de cambio que en los del sistema biofísico. Por ejemplo, la presión sobre el uso del suelo y la ocupación de la fuerza de trabajo en un sistema agrícola regional implican tanto conflictos en el manejo del agroecosistema como la toma de decisiones para la distribución de recursos por parte de los productores (micro-racionalidad) y la sociedad en general (políticas colectivas de sustentabilidad). De acuerdo con este contexto de complejidad, la construcción de sistemas sustentables regionales es inherentemente sensitiva a los cambios sociales.

Esta vinculación interdisciplinaria para evaluar las condiciones ecológicas y económicas a nivel de los sistemas de producción, paisajes y territorios, así como para desarrollar modelos espaciales, ha sido usada para examinar y proyectar cambios en el uso del suelo como resultado de potenciales riesgos asociados con

cambios futuros, incluyendo la urbanización (Kline *et al.,* 2001). En este trabajo se presentan lineamientos de planeación y evaluación agroambiental que pueden auxiliar en el desarrollo de modelos para establecer relaciones entre el paisaje, cambios en el uso del suelo y los factores socioeconómicos, biofísicos y espaciales que afectan el comportamiento de los sistemas de producción agrícolas, particularmente de la región de Sierra Nevada, Estado de México.

Enfoque conceptual del desarrollo regional sustentable

Es importante considerar que la naturaleza desigual del desarrollo territorial de los espacios y las actividades rurales se inscribe bajo una dinámica y contexto regional específico. Como parte de esta dinámica, los espacios rurales se encuentran bajo procesos de reconfiguración local y no local, ya sea de sus instituciones, redes y actores sociales así como de sus elementos geoambientales, que se alinean en su conjunto bajo diferentes esferas del desarrollo regional, principalmente respecto a la producción, intercambio y reproducción social y material. De esta manera, los patrones de diferenciación del manejo agroambiental en los territorios son parte de una ruralidad contextualizada regionalmente (Marsden, 1998). Al ser los paisajes rurales portadores de una multitud de características y procesos de usos de suelo debido a que son la mezcla de elementos naturales y actividades humanas (Piorr, 2003), entonces el estudio de la naturaleza de los componentes, rasgos y magnitud de cambio de las actividades agrícolas debe estar relacionada con la influencia de estos sistemas productivos en el paisaje regional (Mander y Jongman, 1998). La variedad de cambios en el manejo y uso del suelo de paisajes rurales también requiere precisar la dinámica ambiental, productiva y social que permita identificar la secuencia y trayectorias de cambio regionales (Nagendra *et al.,* 2004). Por lo tanto, la comprensión de por qué existe una heterogeneidad en el manejo ambiental y productivo del paisaje rural regional por las comunidades locales, puede deberse a que la estructura jerárquica y los patrones de localización de cualquier región que desarrollan una distribución espacial desigual de las áreas rurales circundantes. Del mismo modo, una mejor comprensión de cómo los procesos socioeconómicos impactan los patrones espaciales en el paisaje regional puede mejorar el análisis de procesos tales como la sustentabilidad (Croissant, 2004).

La espacialidad regional de los territorios rurales puede comprenderse como una dinámica red integrada de sistemas sociales y ambientales. La importancia de considerar las diversas formas de relación que ocurren en los espacios rurales

y las posibles estrategias y políticas de planeación del desarrollo regional consiste en incluir a los diferentes tipos de organizaciones espaciales enlazadas por diversos puntos de relación (*i.e.* infraestructura, migración de personas o flujos de capital) y no concebir a la región como la suma de unidades fragmentadas, llámese territorios, paisajes ambientales y poblaciones (Hidding y Teunissen, 2002). De tal forma que los cambios en las regiones rurales no sólo pueden ser analizados debido a las orientaciones productivas y a las estrategias de explotación y/o recolección de recursos naturales sino también en función de las percepciones de los productores rurales y sus familias, de considerar el paisaje rural como lugar de vida, lo cual implica diversos niveles de variación entre los valores, racionalidades y cambios ocupacionales de los individuos y de las características propias de las regiones (Primdahl, 1999).

A partir de tomar en cuenta las transformaciones de los espacios regionales y las prioridades para la regulación de su manejo ambiental, sobre todo en función de la efectividad de la implementación de prácticas productivas que conserven la calidad ambiental, se debe considerar que las representaciones y la espacialidad de lo rural incluye las actitudes, valores y metas de los productores agrícolas que son el resultado mismo de la percepción humana, de actividades cognitivas, emociones, interpretaciones y significados, lo que en su conjunto definen las acciones materiales (Morris y Evans, 2004).

De acuerdo con el marco de la promoción del desarrollo regional sustentable, la influencia de factores culturales y la actitud y las conductas ambientales dan cabida a los propios significados del ambiente, a las percepciones de desarrollo regional y al entendimiento público de sustentabilidad. De esta forma, se requiere que las metodologías sociales a nivel micro-locales precisan de una mayor apreciación de la influencia de los patrones de conducta individual sobre la búsqueda de la sustentabilidad ambiental (Barr y Gilg, 2005). Así, los marcos metodológicos que comprendan el papel de la composición local (*i.e.* características individuales), el contexto (*i.e.* ambiente regional) y la comunidad (*i.e.* redes de capital social) pueden explicar los diferente tipos de acciones agroambientales (Wakefield *et al.*, 2006). Las anteriores consideraciones se suman al análisis de los efectos de la heterogeneidad de los individuos en las acciones colectivas para la apropiación de recursos. Esta heterogeneidad impide o facilita la acción colectiva dependiendo de los incentivos o beneficios de la cooperación social por parte de los miembros del grupo o comunidad. La heterogeneidad presente en las comunidades locales y regionales es así mismo un componente clave en los diseños de políticas y acciones institucionales (Margreiter *et al.*, 2005). Con ello se reconoce como crucial la integración de las necesidades, prioridades y parti-

cipación de la población rural en programas y actividades institucionales, para la efectividad de largo plazo de los programas de desarrollo regional. Asimismo, se reconoce que la participación institucional contribuye positivamente hacia la innovación y el rescate de sistemas agroproductivos. En este sentido, se identifica que la participación de la población y la efectividad institucional son altamente influenciadas por las características de los productores rurales locales (Shivakoti y Thapa, 2005).

Vulnerabilidad y dinámicas agroambientales regionales

A pesar de que el cambio climático, las alteraciones al medio ambiente y la disminución de la cantidad y calidad de los recursos naturales son el resultado de una serie de procesos interconectados a nivel mundial, sus impactos se pueden observar en sitios específicos debido a la propia naturaleza de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las regiones y a los sectores económicos locales. Es esta capacidad, como concepto organizador, la que permite ser un punto de partida para la construcción de indicadores prácticos de la vulnerabilidad de diferentes sistemas localizados en diversas áreas geográficas (Yohe y Tol, 2002).

El estudio de las implicaciones sociales y ambientales de las modificaciones de los recursos naturales se ha vinculado fuertemente al tema del desarrollo sustentable. En este sentido, se espera que las actuales prácticas de producción, consumo y distribución que se dirigen hacia el escenario de la sustentabilidad deben ser capaces de reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y de las sociedades regionales a los cambios en el ambiente y al mismo tiempo beneficiar a los espacios locales. De esta manera, un enfoque integral sobre el impacto del cambio climático, las alteraciones al ambiente y la disminución de la cantidad y calidad de los recursos naturales, debe registrar las variaciones en la vulnerabilidad local y la capacidad adaptativa.

Particularmente, el sector agrícola merece un énfasis importante en los estudios sobre este tipo de cambios y alteraciones medioambientales debido a que cualquier efecto en la producción agrícola tendría consecuencias importantes para la seguridad alimentaria y el bienestar del ser humano. Sin embargo, los efectos de estos cambios han recibido menor atención de la esperada, por parte de quienes toman las decisiones en políticas regionales agroambientales y de los propios agricultores y pobladores locales, en virtud de los problemas de corto plazo que se abordan en esta actividad económica. Por ejemplo, es identificado por la literatura mundial que el cambio climático trae consigo modificaciones en

las prácticas agrícolas y en el uso de especies y variedades, en la medida que se presentan restricciones por el aumento de la temperatura y la falta de disponibilidad de agua para el rendimiento óptimo de los cultivos. Se estima que el impacto potencial del cambio climático para la producción de maíz en África y América Latina, para el 2055, será la reducción del 10% que equivale a 2 billones de U. S. dólares por año (Jones y Thornton, 2003). Sin embargo, este dato agregado no refleja la amplia variabilidad regional y por sistemas de cultivo. Así, en la actualidad, es preciso evaluar este tipo de impacto por sitio específico y por sistema de producción.

En este sentido, es imperativo el estudio de la distribución de los impactos debidos a este tipo de cambios y alteraciones medioambientales en la agricultura a partir de considerar la compleja interacción de los factores ambientales, sociales, económicos y políticos involucrados en cada región o área geográfica. El análisis deberá incluir las estrategias tecnológicas usadas para los sistemas agrícolas sustentables a partir de ciertas prácticas que reduzcan su vulnerabilidad y amplíen su capacidad adaptativa frente a los escenarios prospectivos de los cambios climáticos y agroambientales. Por ejemplo, mediante el mejoramiento de la capacidad de retención de agua por el suelo agrícola al incrementar la materia orgánica, lo cual influye en la habilidad del cultivo a soportar largos periodos de sequía.

La consideración de las alternativas sustentables para la agricultura regional desde un punto de vista ambiental y económico se encuentran presentes en diversos modelos multi-criterios, en los cuales se destaca el manejo tecnológico, el tipo de suelo y del impacto del cambio climático (variaciones en la temperatura) en el rendimiento de los cultivos en diferentes escalas (Meyer-Aurich, 2005). Parte de la información provista por estos modelos contribuye a la mejor toma de decisiones respecto a los procesos, dinámicas y prácticas de manejo de cultivos y su relación con la calidad ambiental (Islam, 2005). Sin embargo, los datos sobre rendimiento y desempeño de las especies vegetales ante condiciones cambiantes del ambiente no reflejan de manera suficiente la vulnerabilidad de la agricultura, de los agricultores y del marco regional.

Por lo tanto, la evaluación integral de la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios tiene que recurrir a diferentes escalas temporales y espaciales, y niveles de comprensión teórica, sobre todo en virtud de que el propio concepto de vulnerabilidad refiere al conjunto de los sistemas de interacción humano-ambientales. Estos sistemas incluyen, por ejemplo, la territorialidad, la seguridad alimentaria, la salud humana, el valor de los ecosistemas, el agua, la economía, los recursos humanos y el medio ambiente, entre otros (Straton, 2006). En este sentido, la vulnerabilidad al cambio climático es entendida como una función de un ran-

go de factores biofísicos y socioeconómicos, a los cuales existe la posibilidad de definir conceptualmente (Luers, 2005) y registrar y definir bajo una tipología espacialmente definida (O´Brien *et al.*, 2004).

El desarrollo regional y la evaluación de la sustentabilidad

El estudio de sistemas regionales sustentables puede ser mejor abordado mediante la comprensión de varios niveles de organización del sistema, cómo estos niveles se interrelacionan y cómo las interrelaciones cambian. En este sentido, el sistema regional puede operar en diferentes escalas espacio-temporales en donde otros sistemas actúan, tal como es el caso de los sistemas agrícolas, los cuales son uno de los principales sistemas ambientales de vida que sostienen diferentes formas de organización social. Estos sistemas agrícolas a su vez incluyen los sistemas socioeconómicos y los biofísicos, los cuales son referidos por la economía ecológica como sistemas económicos humanos y sistemas económicos naturales, respectivamente (Weston y Ruth, 1997). De esta manera, la comprensión de la complejidad y la dinámica del sistema regional se puede auxiliar, conceptual y metodológicamente, mediante la desagregación jerárquica de sus niveles de organización en otros sistemas que por lo regular son interdependientes, en donde los procesos de cambio que ocurren en un nivel de la estructura influencian y son influenciados por la dinámica de otro nivel del sistema. En este sentido, se tiene que alertar que cuando se escoge un sistema particular o atributos específicos de la sustentabilidad, las interacciones jerárquicas entre los sistemas sobre un rango de escalas en espacio y tiempo pueden ser evadidas en su comprensión. Por ejemplo, en el análisis de un agroecosistema, que es el resultado de condiciones climáticas cambiantes y cambios internos de su propio desarrollo (*i.e.* tecnológicos), éstas pueden ser confundidas en el marco del amplio rango de condiciones en la jerarquía de sistemas regionales. De esta manera, la sustentabilidad del desarrollo regional puede ser evaluada en función de la prioridad definida en las acciones tomadas con anterioridad dentro del marco espacial y temporal de sistemas existentes (Costanza y Patten, 1995). Es decir, la sustentabilidad, como proceso, es el resultado de una temporalidad marcada por los límites y dinámica del sistema de tal modo que la determinación de ser sustentable o no, depende de haberse consumado los cambios producidos.

Como parte de los procesos de evaluación y monitoreo de la sustentabilidad, se deben distinguir los diferentes niveles espaciales y temporales donde se imbrican sus distintos ámbitos de análisis. Un primer paso en la generación de mode-

los de evaluación del desarrollo sustentable debe ser justamente la determinación del nivel espacial desde el cual se abordará, así como la definición del patrón que se quiere alcanzar y el tiempo en que se desea mantener. Lo anterior significa referir el tipo e intensidad de los procesos productivos y el aprovechamiento de los recursos naturales que los sustentan y el tipo de desarrollo de las relaciones económicas y sociales en que la sociedad se encuentra. En este sentido, la determinación espacial y definición del patrón de sustentabilidad supone un encuentro y ejercicio democrático entre los actores que evaluarán y los que serán evaluados, donde se fijen las características del paradigma de desarrollo sustentable a cubrir. Por lo tanto, se debe especificar la idea-meta, los tiempos, jerarquías y guías-acción que definirán el curso de este proceso. En el caso del ámbito agroambiental, la evaluación de la sustentabilidad corresponde a ciertos atributos incluidos en su propia definición, la cual consiste en aquélla que, a largo plazo, promueve la calidad del ambiente y de los recursos base, sobre los cuales los sistemas agropecuarios dependen y satisfacen de alimentos y productos a las necesidades humanas, mantienen su viabilidad económica y promueven la calidad de vida de los productores y la sociedad en su conjunto (Stockle *et al.,* 1994).

En la evaluación de los atributos de los procesos agroambientales se pueden establecer diferentes marcos metodológicos a partir de los cuales se puede valorar la propia sustentabilidad. Básicamente, se pueden distinguir cuatro grandes tipos de marcos metodológicos: *a)* nacionales o macroregionales que tienden a la formulación de políticas, *b)* análisis regionales, *c)* evaluación de sistemas de manejo (unidades de producción), y *d)* modelos integrales, implicando la combinación de los niveles anteriores. Particularmente, los tres últimos son los que pueden ser utilizados para evaluar el desarrollo regional, en virtud de que los datos nacionales enmascaran las variaciones significativas del comportamiento regional de los sistemas agroambientales (OECD, 2000).

Aunque cada marco posee sus particularidades, todos parten del enfoque de sistemas y poseen un esqueleto metodológico similar, el cual contiene alguno de los siguientes elementos: *a)* generar una visión de la sustentabilidad, es decir, establecer un marco paradigmático que oriente el modelo de evaluación; *b)* jerarquización de criterios empleados de acuerdo con los objetivos del proyecto de sustentabilidad a evaluar; *c)* establecimiento de definiciones consensadas para cada criterio; *d)* delimitación de las fronteras del sistema; *e)* definición de indicadores, tanto aquellos que se medirán directa como indirectamente; *f)* establecimiento de una metodología de medición para cada indicador; *g)* establecimiento de las unidades en las que serán medidos los indicadores, escalas nominales, ordinales e intervalos; *h)* estandarización que asigne valores de apreciación a los datos ob-

tenidos que implica la jerarquización de cada criterio de acuerdo con el contexto del proyecto analizado e *i)* síntesis de los valores de apreciación mediante su comparación para los diferentes criterios empleados (Bosshard, 2000).

Planeación agroambiental del desarrollo regional

Las principales tendencias en las estrategias de desarrollo regional sustentable en México tienen como objetivo fortalecer la infraestructura económica de cada región, a través de inversiones en sus diferentes sectores, así como mejorar integralmente la calidad de vida de los habitantes por medio de nuevas inversiones en infraestructura básica, equipamiento urbano y vivienda. Se pretende favorecer que en las regiones con mayores niveles de bienestar social y progreso económico, los recursos naturales sean aprovechados y conservados de forma sustentable y, por otro lado, se cuente con entornos políticos democráticos vigorosos, y estructuras sociales cada vez más equitativas, participativas e integradas.

Al considerar que el camino del desarrollo regional es producto de una combinación de procesos, recursos endógenos y redes de articulación horizontal que favorecen una generación de programas, que al mismo tiempo posibilitan la implementación y recuperación del aparato productivo local, lo que a la vez consolida un tejido productivo sólido, el desarrollo regional es entendido como una política de corrección de las desigualdades y como la construcción de un territorio integrado en donde se hace necesario que los actores involucrados cuenten con diferentes herramientas y elementos teórico-metodológicos para involucrarse activamente en la planeación misma.

Sin embargo, la ausencia de planeación ambiental ha ocasionado una gran preocupación sobre el desarrollo futuro de regiones urbanas y rurales. La implementación efectiva de la planeación ambiental permite crear rutas hacia un desarrollo regional sustentable a partir de la comprensión de los factores biofísicos y socioeconómicos que funcionan interrelacionados como elementos y procesos interdependientes. En este sentido, la planeación agroambiental permite operar estrategias de prevención y control que toman en cuenta la vulnerabilidad de las regiones rurales, entendiéndola como la probabilidad de que condiciones futuras cambien en una dirección negativa.

La planeación agroambiental comprende muchas actividades y no hay definición que comprenda a todas. La planeación ambiental no se considera sólo como un instrumento enfocado al desarrollo regional basado en criterios económicos y limitado al criterio administrativo, sino que considera que las estrategias

deben de dirigirse a un proceso de gestión descentralizada en el que participan los tomadores de decisiones y los expertos de diferentes sectores de la sociedad (Bojorquez-Tapia *et al.*, 1994). La participación puede darse de tres formas: *a)* aportando información al público o a los afectados; *b)* consultando al público o a los afectados para obtener información, y *c)* involucrarlos activamente en el proceso de toma de decisiones. El principio es funcionar no sólo como fuente de información sino también para diseminar la información y con ello lograr las actividades siguientes: 1. Identificación de problemas; 2. Desarrollar indicadores adecuados basados en la comunidad; 3. Construcción de escenarios; y eventualmente 4. Utilizar indicadores durante la fase de monitoreo (Ridder y Wostl, 2005).

Un ciclo típico de planeación agroambiental incluye una etapa de análisis y recopilación de información sobre los problemas y soluciones existentes en relación con el aire, agua, suelo, cultivos, etc. La planeación agroambiental para la sustentabilidad implica un proceso democrático para lograr objetivos comunes para todos los segmentos de la población, proteger la salud del medio y asegurar los recursos que futuras generaciones requerirán para sobrevivir y progresar. La planeación para lograr la sustentabilidad incluye procesos, prácticas y eventos.

Los principales procesos consisten en: *a)* tomar decisiones de una manera holística y bien informada que incluya todos los segmentos de la comunidad; *b)* educar a todos los grupos para lograr el entendimiento de las consecuencias futuras que resultarán de las decisiones actuales de planeación y las modificaciones en la conducta humana. Las prácticas incluyen: *a)* desarrollar una visión de futuro que contemple más allá de las necesidades actuales y reconozca los límites del medio al desarrollo humano; *b)* fomentar proyectos y actividades que promuevan el desarrollo económico mediante una eficiente y equilibrada distribución de recursos y bienes, minimizando, reutilizando y reciclando desperdicios y protegiendo los ecosistemas naturales; *c)* motivar a los individuos y organizaciones que asuman completa responsabilidad por las consecuencias económicas, sociales y ambientales de sus acciones, equilibrando sus necesidades y deseos con el bienestar de la naturaleza y la sociedad y *d)* desarrollar liderazgo en la proyección e implementación de políticas locales y estatales que apoyen la sustentabilidad.

Asimismo, los eventos comprenden: *a)* patrones del desarrollo local y regional que amplíen las opciones y las oportunidades para todas las personas, reconociendo una responsabilidad especial de tratar las necesidades de los que se encuentran en desventaja; *b)* patrones locales y regionales que proporcionen oportunidades a todas las personas; *c)* desarrollar liderazgo en la proyección e

implementación de políticas locales y estatales que apoyen la sustentabilidad, y *e)* comunidades con una economía, medio y clima social saludable que funcione en armonía con el ecosistema natural que permita a la gente alcanzar una vida sana, productiva y en armonía.

Finalmente, existen instrumentos que ayudan a realizar la planeación agroambiental. Uno de ellos es el ordenamiento ecológico que permite evaluar, normar y programar los usos del suelo y las actividades productivas. Asimismo, sienta las bases para un manejo adecuado de los recursos naturales a fin de establecer los lineamientos generales y las estrategias para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento de los recursos. La evaluación del impacto ambiental (EIA) es otro instrumento de la planeación ambiental, sin embargo, presenta algunas limitaciones, tales como el no considerar el impacto acumulativo de varios proyectos o subcomponentes de éstos; el subestimar la vulnerabilidad ambiental en las etapas tempranas cuando las alternativas son desarrolladas, y el no contar con un monitoreo transparente. Otros instrumentos han sido desarrollados para salvar las fallas de la EIA como son la evaluación estratégica ambiental y el modelo de vulnerabilidad integrado (Kvaerner *et al*., 2006).

El estudio de caso de Sierra Nevada, Estado de México

El contexto regional

Las alteraciones al medio ambiente y la disminución de la cantidad y calidad de los recursos naturales en la región de Sierra Nevada, Estado de México son el resultado de los diferentes patrones de uso energético, cambios en el uso del suelo y procesos de urbanización, principalmente. En su conjunto, el avance en el estudio de estas perturbaciones, en escalas locales y regionales, aún permanece impreciso respecto a la planeación, adaptación y mitigación de sus efectos, particularmente cuando se vienen excediendo los límites de la variabilidad natural en los ecosistemas de esta área en estudio. La evaluación de los mecanismos que facilitan o restringen la capacidad de los sistemas regionales frente a este tipo de cambios agroambientales permite identificar no sólo cuál sistema se encuentra en mayor riesgo sino también por qué. La operacionalización del concepto de vulnerabilidad mediante la evaluación del umbral de daño, la sensitividad, el grado de exposición y la capacidad de adaptación dentro y entre los sistemas agropecuarios es una necesidad prioritaria en la evaluación agroambiental regional. Esto es más importante aun cuando se entiende que la vulnerabilidad regional revela los efectos diferenciales del clima y el ambiente sobre la sociedad y como los factores

sociales, económicos, históricos y políticos definen la propia vulnerabilidad (Vásquez *et al.*, 2003). En este sentido, la naturaleza dinámica de la vulnerabilidad refiere la importancia de su análisis en escalas temporales y espaciales (Luers *et al.*, 2003).

En particular, durante los últimos años la región de Sierra Nevada, que incluye 37 000 ha de bosque, la más importante masa forestal de la Cuenca de México, ha transcurrido por rápidos cambios económicos, sociales, demográficos y territoriales. La integridad biofísica de los recursos naturales se encuentra en riesgo (Vargas, 1998), así como sus frágiles ecosistemas de gran altura (4 000-5 000 m) y sus bosques ubicados en las zonas bajas (2 500-4 000 m) se han visto afectados por los efectos del calentamiento global y de la contaminación atmosférica urbana, los cuales han derretido dos de los ocho glaciares en el Iztaccíhuatl desde 1980, decreciendo con ello el flujo de agua corriente en la parte baja (Chávez y Trigo, 1996). Esta región es parte del acuífero Chalco-Amecameca que abastece la Cuenca del Valle de México, la cual tiene una recarga de 74 Mm^3/año y una extracción de 1 28.4 Mm^3/año, lo que significa una sobreexplotación de 73.5% (Burns, 2006). Paralelo a estos procesos, la rápida urbanización y el crecimiento poblacional han ejercido una gran presión sobre los ecosistemas rurales colindantes y sus actividades agrícolas. Éstos han provocado el deterioro del ambiente regional y de las condiciones para la producción, así como riesgos para la reproducción biológica y social humana.

La agricultura en Sierra Nevada es sensible a las variaciones climáticas interanuales que aunadas a los factores físicos afectan la producción de cultivos, tales como el tipo de suelo, la topografía y el clima. En especial la mayoría de sus suelos (litosoles y andosoles) son extremadamente susceptibles a la erosión si pierden su cobertura vegetal (Raufflet, 2005). La producción agrícola puede variar hasta un 20% de ciclo a ciclo estacional, para el caso del maíz, como resultado de la alta variabilidad climática reciente. En general, la evaluación del impacto de los cambios ambientales sobre los cultivos puede realizarse mediante la simple relación entre la simulación de las condiciones de clima-cultivo-manejo y la producción regional. Sin embargo, es preciso desarrollar herramientas metodológicas para probar la respuesta de los sistemas agropecuarios (a escala de sitios específicos) a factores ambientales (*i.e.* aumento en la temperatura y cambio en los regímenes hidrológicos) y al manejo de insumos (*i.e.* fertilización nitrogenada y biofertilización) como parte de la elaboración de modelos funcionales de cambio en el uso del suelo a nivel regional (Irving y Kaplan, 2001). La respuesta de los sistemas agropecuarios de Sierra Nevada ante los cambios ambientales debe ser evaluada en la escala de sitios específicos y a manera de pequeñas áreas de estudio.

Problemáticas e indicadores agroambientales regionales

La región Sierra Nevada está conformada por más de diez municipios del Estado de México, que presentan diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas. Por ello, las problemáticas agroambientales de la región son diversas y se diferencian en función de las características edafoclimáticas, tecnológicas y socioeconómicas de cada uno de los municipios. Así, existen zonas donde los procesos erosivos son mucho más visibles por el tipo de agricultura que se practica (*i.e.* siembra de papa o trigo de forma extensiva sobre tierras con vocación forestal o agroforestal); y otras donde los sistemas agropecuarios de baja competitividad en el mercado regional compiten desventajosamente por el suelo y el agua con las actividades de urbanización. La deforestación, el cambio climático microrregional, el incremento en el uso de pesticidas, la reducción de la aplicación de materia orgánica en los suelos debido a la disminución de la actividad ganadera, son algunos elementos que contribuyen de una manera u otra a la pérdida del potencial productivo de las tierras agrícolas y al deterioro de la biodiversidad asociada a éstas (microorganismos del suelo, especies de árboles frutales y plantas medicinales, organismos depredadores que controlan ciertas plagas de roedores, etc.). A continuación se enlistan algunas de las problemáticas más comunes encontradas y sentidas por los habitantes de la región, a partir del trabajo de campo realizado por los autores durante 2005 y 2006:

1. Interrupción de la infiltración dentro de la cuenca, ante los cambios de uso de suelo.
2. Presión urbana sobre tierras agrícolas.
3. Tala clandestina de zonas forestales.
4. Destrucción del arbolado joven por sobrepastoreo y elaboración de estacas para el cultivo de jitomate.
5. Uso de agroquímicos no controlado ni evaluado.
6. Sobreexplotación de recursos forestales no maderables; tierra de hoja, musgo, heno, hongos, ocoteo.
7. Plagas de descortezadores en los bosques.
8. Erosión generada por las prácticas agrícolas.
9. Plagas de muérdago en árboles forestales y frutales (*i.e.* capulín).
10. Residuos de plásticos que no se reciclan y quedan en el campo.
11. Uso de pesticidas químicos que podrían estar contaminando los acuíferos.

12. Falta de riego en zonas con suelos profundos con alto potencial productivo.

Las causa de estos problemas son multifactoriales y de diversa complejidad, y están asociados principalmente a los cambios de uso de suelo tendientes en décadas pasadas al desmonte y a la ampliación de la frontera agrícola; y actualmente, a la urbanización y cambio en los patrones de consumo y producción que ello supone.

En este contexto, la construcción de la sustentabilidad ambiental de la agricultura regional implica la creación de instrumentos que permitan entender los procesos que limitan el desarrollo de ésta bajo esquemas de manejo sustentable, el estado del capital humano, social, natural y financiero involucrados en ella, así como las acciones de respuesta de los diferentes sectores de la sociedad frente a estas presiones. Estas tres acciones se estructuran en lo que se denomina un sistema de monitoreo y evaluación de la sustentabilidad regional agroambiental.

Los sistemas de monitoreo permiten mediar la efectividad de los planes y acciones acordadas, así como los criterios regulatorios de otros instrumentos de planeación como el ordenamiento ecológico territorial. El sistema de monitoreo se basa en indicadores que miden avances o retrocesos en relación con las prioridades consensuadas previamente. Al seleccionar los indicadores es importante que su medición sea posible en función de los tiempos, recursos financieros y capacidades técnicas disponibles en la región, y que al mismo tiempo cuenten con el respaldo técnico que garantice su confiabilidad (Burns, 2006). En este sentido se proponen indicadores como los enunciados en la Tabla 1.

Los indicadores tradicionalmente propuestos en los sistemas de monitoreo y evaluación de la sustentabilidad ambiental a nivel regional generalmente hacen énfasis en indicadores como los mostrados anteriormente, los cuales se enfocan a parámetros asociados con las grandes acciones técnicas o políticas de mejora (Respuesta), a la condición general de los recursos naturales amenazados a nivel regional (Estado) o a los grandes factores económicos o tecnológicos que originan las principales problemáticas (Presión). Sin embargo, poco énfasis se ha hecho en términos metodológicos por profundizar en el monitoreo de los actores productivos de la región no sólo en términos de su desempeño ambiental y tecnológico, sino también de todo su comportamiento económico y organizativo. En este sentido, los procesos de planeación para la sustentabilidad y el diseño de políticas para la gestión ambiental y agroempresarial requieren instrumentos de monitoreo e información sobre el desempeño de los actores regionales (productores de tipo campesino o empresarial). De acuerdo con esta perspectiva, debería consi-

Tabla 1. Ejemplo de indicadores regionales para monitorear la sustentabilidad agroambiental en relación con el recurso suelo

Indicador	Tipo de indicador (conforme a OECD, 2000)
Toneladas de fertilizantes sintéticos y herbicidas, porcentaje promedio del costo de producción que este gasto representa en las unidades de producción regionales.	Presión: por la reducción en el aporte de abonos orgánicos, el incremento de la fertilización sintética y el empleo de herbicidas.
Nivel de materia orgánica de los suelos agrícolas y de microorganismos solubilizadores de fósforo.	Estado: de la fertilidad del suelo.
Hectáreas con prácticas que fomentan la conservación y biofertilidad del suelo.	Respuesta: a problemas relacionados con la calidad del suelo.

Fuente: elaborado a partir de Burns, 2006.

derarse también lo siguiente dentro del sistema de monitoreo: *a)* la trascendencia y alcances del sistema como un instrumento de gestión que puede contribuir a una mejor toma de decisiones tanto dentro de las empresas como dentro de los gobiernos locales; *b)* los indicadores precisos, las formas y periodos de medición y registro; *c)* la ponderación de los valores de los indicadores bajo una misma escala; *d)* la creación de uno o varios *modelos objetivo* de la sustentabilidad que permitan definir valores ponderados de referencia contra los cuales comparar los valores correspondientes a los indicadores de cada tipo de unidad de producción; *e)* las formas de administración, representación, actualización, consulta y difusión del sistema.

Sólo de esta manera será posible involucrar colectiva y concientemente a los agricultores en un proceso de formación de responsabilidades sociales, ambientales y económicas para la región donde habitan, además de generar esquemas de gestión de la información para una evaluación más objetiva e integral del desempeño propio de los sistemas de producción agropecuarios y de los impactos de las políticas públicas regionales sobre éstos. Es importante destacar que el enfoque teórico conceptual que fundamenta la propuesta del sistema, considera que la sustentabilidad agroambiental como tal es un proceso dinámico y no un estado en sí, que cobra sentido sólo cuando se dimensiona dentro de un contexto regional. Por ello no se habla de si un sistema de producción agropecuario es o no sustentable, sino más bien de si el manejo agroambiental de éste contribuye en mayor o menor medida a la sustentabilidad regional. Esta contribución se da materialmente en dos sentidos, por un lado a través del espacio geográfico y los

efectos energéticos positivos y negativos que el sistema de producción agropecuario genera sobre éste; y por otro, por la cantidad de seres humanos (población local) que intervienen y se ven beneficiados por las actividades del sistema. El tercer elemento que permite hacer operativo el concepto de sustentabilidad es la evolución de los dos factores anteriores a lo largo del tiempo.

La Tabla 2 muestra una propuesta básica de indicadores prioritarios a partir de ocho índices de evaluación que responden a los puntos críticos que presentan los sistemas de producción agropecuarios regionales. Los índices se construyen a partir de la suma ponderada de dos o más indicadores que den cuenta del estado ambiental, tecnológico, administrativo, económico o social de los propios sistemas.

Fortalecimiento institucional local mediante políticas para el desarrollo regional

El diseño y aplicación de políticas, programas y reglamentaciones gubernamentales respecto a las regiones y comunidades rurales de Sierra Nevada se relacionan principalmente con: *a)* la aportación de bienes y servicios ambientales, agua y recarga de acuíferos, productos forestales, producción de oxígeno y captura de carbono, paisajes rurales para el esparcimiento; *b)* el uso del territorio rural como reserva espacial para la expansión urbana (uso habitacional, vías de comunicación, depósito de basura); *c)* la oferta de productos agropecuarios y alimentos, de carácter complementario y/o estacional, y *d)* el suministro de fuerza laboral.

Sin embargo, estas políticas no han conseguido hacer consciencia en la población urbana, principal agente de presión sobre los recursos naturales regionales, de la interdependencia que tienen con los espacios agropecuarios y forestales, no sólo en términos de recreación y alimentación, sino en relación con el suministro de servicios ecosistémicos y costos económicos. Por lo tanto, es imperiosa la necesidad de diseñar políticas para el desarrollo sustentable de toda la macroregión de la Ciudad de México, donde además de diseñar lineamientos de bienestar social y económico local se necesitan implementar procesos de democratización político-espacial con la activa participación de quienes habitan y manejan los recursos naturales dentro de los paisajes rurales regionales. Una propuesta de marco de políticas públicas de tipo organizacional para los sistemas agroambientales regionales en Sierra Nevada, que incluyan las principales problemáticas en las áreas peri-urbanas de la Ciudad de México, debe responder con mayor importancia al desarrollo de las capacidades humanas e institucionales de planeación y

Tabla 2. Problemáticas generales de los sistemas de producción agropecuarios relacionadas con la sustentabilidad regional

	Indicadores principales por ámbito del sistema de producción agropecuario		
Índices de evaluación	Ámbito técnico y ambiental	Ámbito económico administrativo	Ámbito sociocultural
Condición del agua y del suelo	Protección del suelo contra los procesos erosivos. Niveles de materia orgánica en las tierras de cultivo. Agua infiltrada en los terrenos. Uso de pesticidas y fertilizantes solubles. Tecnología para el uso eficiente del agua.	Servicios ambientales prestados. Monto ingresado por servicios ambientales cobrados.	
Condición de la biodiversidad	Acciones para la recuperación de la biodiversidad local. Especies criollas cultivadas o criadas.	Servicios ambientales prestados. Monto ingresado por servicios ambientales cobrados.	
Control sobre tecnología y adecuado manejo de procesos administrativos	Desarrollo y apropiación de nuevas tecnologías. Conservación y mejora de tecnologías tradicionales. Dependencia de insumos y equipo externo a la región.	Presencia del sistema de control contable. Presencia de sistemas de monitoreo de la sustentabilidad. Presencia de mecanismos de planeación. Presencia de proyectos de crecimiento empresarial.	-Capacidad para la gestión de capacitación y asesoría técnica.
Productividad económica		Margen de utilidad bruta. Nivel de acumulación y reinversión en el sistema de producción.	

Diversificación económico-productiva	Diversidad de especies cultivadas y criadas en el tiempo y en el espacio.	Diversidad y control sobre fuentes de financiamiento. Diversidad de productos y servicios ofertados en el mercado. Diferenciación de productos y servicios. Diversificación de estrategias y de mercado y puntos de venta.	
Integración y vinculación económica-tecnológica		Alianzas y redes estratégicas con otras instituciones: empresas, universidades, asociaciones empresariales para la gestión de mercados, insumo o tecnologías. Grado de integración productiva horizontal y vertical. Cadena de valor agregado.	Grado de equidad y capacidad de negociación con los agentes vinculantes. Participación en espacios de intercambio de experiencias e información con otros productores agropecuarios.
Calidad de vida y equidad		Ingreso familiar per cápita. Empleos generados.	Nivel de autoconsumo en alimentos. Participación de las mujeres en la toma de decisiones. Nivel educativo.
Continuidad generacional, participación y acción política-cultural			Grado de participación en actividades sociales y culturales de la comunidad. Grado de integración de los hijos en decisiones. Continuidad generacional y participación de los hijos. Participación ciudadana en la planeación y evaluación de políticas.

Fuente: elaboración a partir de la información recabada en los talleres de diagnóstico y en la evaluación de los sistemas de producción agropecuarios 2005-2006.

organización que a una simple instrumentación de programas de financiamiento, introducción de paquetes tecnológicos o creación de esquemas de regulación o certificación ambiental que restrinjan los usos del suelo o promuevan productos y servicios ecosistémicos.

En el fondo de la problemática ambiental y productiva de los sistemas regionales de Sierra Nevada, subyace la dimensión política como un aspecto central del desarrollo regional. La generación de alternativas agropecuarias productivas, el pago de servicios ecosistémicos, la planeación y administración del desarrollo urbano regional, así como las acciones que transiten hacia un modelo de desarrollo local sustentable implican forzosamente la descentralización del poder político y económico a nivel del gobierno y la sociedad civil. Estos escenarios de política agroambiental deben ser revisados como principios institucionales para el manejo de los recursos naturales no sólo bajo la premisa de cierta vulnerabilidad existente sino también bajo el marco del impacto severamente crítico de las actividades humanas en los sistemas de producción regionales y el funcionamiento de los ecosistemas (Princen, 2003:34). Por lo tanto, la adaptación a procesos de cambio para anticipar los impactos adversos de éstos debe ser parte del diseño de políticas ambientales y la definición de estrategias que regulen la interacción de las instituciones, los sectores involucrados y quienes toman decisiones a diferentes niveles de gobierno (Eakin y Lemos, 2006:7).

Esta información es fundamental para priorizar los limitados recursos utilizados en el diseño de políticas y la implementación de acciones para reducir la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios (Luers *et al.*, 2003). Particularmente, los procesos de elaboración de políticas para el desarrollo regional sustentable requieren de la evaluación de la complejidad de los sistemas agropecuarios y forestales (Bontkes y van Keulen, 2003). En este sentido, el uso de metodologías y modelos a nivel regional es adecuado para la elaboración de agendas y procesos de desarrollo hacia la sustentabilidad (Lindley y McEvoy, 2002). Sin duda alguna, que la aplicación de políticas ambientales para áreas rurales en México requiere contar con una valoración de la calidad del ambiente, la biodiversidad, el uso del suelo y del propio desarrollo regional. Esto deberá ocurrir en términos de un proceso descentralizado, reticular e interactivo en la aplicación de políticas regionales para mitigar el impacto del cambio agroambiental en sistemas agropecuarios específicos y su respectiva vulnerabilidad local.

Conclusiones

La investigación agroambiental sobre el desarrollo regional enfocado hacia la sustentabilidad no sólo se debe concentrar en el mejoramiento de métodos, tecnologías y diseño de políticas sino también deben incluir criterios de evaluación cualitativos orientados hacia los procesos de aprendizaje por parte de las poblaciones locales y con respecto al ambiente (Mog, 2006). En este sentido, la promoción de la habilidad operacional y del aprendizaje sobre el medio regional, como un método de evaluación e innovación de los sistemas productivos, es una oportunidad de largo plazo para combinar procesos de mejoramiento económico, tecnológico, social y ecológico hacia la sustentabilidad (Gerstlerger, 2004). Así, es importante reconocer y promover las redes regionales de los agricultores como estrategias y medios efectivos para contribuir al desarrollo regional sustentable a partir de procesos de aprendizaje colectivos (Oerlemans y Assouline, 2004). Parte de este reconocimiento multi-escala consiste en identificar los cambiantes escenarios de la ruralidad, los cambiantes paisajes y la recomposición social regional, incluyendo la diversidad de la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios. Por lo tanto, los retos operacionales y los dilemas de la investigación que ayuden a aportar elementos de análisis para el diseño de políticas y coadyuven a la reducción de la vulnerabilidad socioambiental de los sistemas agropecuarios, deben estar asociados a la práctica de la planeación ambiental y el ordenamiento del territorio, los cuales deben sustentarse en la participación de las comunidades regionales (Lane y McDonald, 2005).

Referencias

Barr, S. and A. Gilg (2005), "Conceptualising and analyzing household attitude and actions to a growing environmental problem. Development and application of a framework to guide local waste policy", *Applied Geography*, vol. 25, pp. 226-247.

Bojórquez-Tapia, L., E. Ongay-Delhumeau and E. Ezcurra (1994), "Multivariate approach for suitability assessment and environmental conflict resolution", *Journal of Environmental Management*, no. 41, pp.187-198.

Bontkes, T. and H. van Keulen (2003), "Modeling the dynamics of agricultural development at farm and regional level", *Agricultural Systems*, no. 76, pp. 379-396.

Bosshard, A. (2000), "A methodology and terminology of sustainability assessment and its perspectives for rural planning", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, no. 77, pp. 29-41.

Burns, E. (2006), *¿De dónde vendrá nuestra agua? Guía hacia la sustentabilidad en la Cuenca de México*, UAM, México.

Burns, E. (coord.; 2006), *Hacia el Ordenamiento Ecológico de la Sierra Nevada. Manual para la puesta en marcha del ordenamiento ecológico del Volcán Popocatépetl y Zona de Influencia, Estado de México y su Sistema de Monitoreo Ambiental*, UAM, México.

Chávez, J. y N. Trigo (coords.; 1996), *Programa de manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl*, UAM, México.

Costanza, R. and B. Patten (1995), "Defining and predicting sustainability", *Ecological Economics*, no. 15, pp. 193-196.

Croissant, C. (2004), "Landscape patterns and parcel boundaries: an analysis of composition and configuration of land use and land cover in south-central Indiana", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 101, nos. 2-3, pp. 219-232.

Eakin, H. and M. Lemos (2006), "Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity-building under globalization", *Global Environmental Change*, vol. 16, pp. 7-18.

Gerstlberger, W. (2004), "Regional innovation systems and sustainability – selected examples of international discussion", *Technovation*, vol. 24, pp. 749-758.

Hidding, M. and A. Teunissen (2002), "Beyond fragmentation: new concepts for urban-rural development", *Landscape and Urban Planning*, vol. 58, pp. 297-308.

Irving, K. and S. Kaplan (2001), "Coping with change: The small experiment as a strategic approach to environmental sustainability", *Environmental Management*, no. 28(6), pp. 713-725.

Islam, S. (2005), "Economic modeling in sustainability science: issues, methodology and implications", *Environment, Development and Sustainability*, no. 7, pp. 377-400.

Jones, P. and P. Thornton (2003), "The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055", *Global Environmental Change*, no. 13, pp. 51-59.

Kline, J., A. Moses and R. Alig (2001), "Integrating urbanization into landscape-level ecological assessments", *Ecosystems*, no. 4, pp. 3-18.

Kvaerner J., G. Swensen and L. Erikstad (2006), "Assessing environmental vulnerability in EIA – The content and context of the vulnerability concept in an alternative approach to standard EIA procedure", *Environ Impact Asses Rev*, no. 26, pp. 511-527.

Lane, M. and G. McDonald (2005), "Community – based environmental planning: operational dilemmas, planning principles and possible remedies", *Journal of Environmental Planning and Management,* vol. 48, no. 5, pp. 709-731.

Lindley, S. and D. McEvoy (2002), "Exploring regional futures, tools and methodologies", *Reg Environ. Change*, no. 2, pp. 163-176.

Luers, A., D. Lobell, L. Sklar, L. Addams and P. Matson (2003), "A method for quantifying vulnerabililty, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico", *Global Environmental Change*, no. 13, pp. 255-267.

Luers, A. (2005), "The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change", *Global Environmental Change*, no. 15, pp. 214-223.

Mander, U. and R. Jongman (1998), "Human impact on rural landscapes in central and northern Europe", *Landscape and Urban Planning*, vol. 41, pp. 149-153.

Margreiter, M., M. Sutter and D. Dittrich (2005), "Individual and collective choice and voting in common pool resource problem with heterogeneous actors", *Environmental and Resource Economics,* vol. 32, pp. 241-271.

Marsden, T. (1998), "New rural territories: regulating the differentiated rural spaces", *Journal of Rural Studies,* vol. 14, no. 1, pp. 107-117.

Meyer-Aurich, A. (2005), "Economic and environmental analysis of sustainable farming practices a Bavarian case study", *Agricultural Systems*, no. 86, pp. 190-206.

Mog, J. (2006), "Managing development programs for sustainability: integrating development and research through adaptive management", *Society and Natural Resources*, vol. 19, pp. 531-546.

Morris, C. and N. Evans (2004), "Agricultural turns, geographical turns: retrospect and prospect", *Journal of Rural Studies*, vol. 20, pp. 95-111.

Nagendra, H., D. Munroe and J. Southworth (2004), "From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 101, pp. 111-115.

O´Brien, K., R. Leichenko, U. Kelkar, H. Venema, G. Aandhal, H. Tompkins, A. Javed, S. Bhadwal, S. Barg, L. Nygaard and J. West (2004), "Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India", *Global Environmental Change*, no. 14, pp. 303-313.

OECD (2000), *Environmental indicators for agriculture. Methods and Results. Executive summary*, OECD, Paris.

Oerlemans, N. and G. Assouline (2004), "Enhancing farmers´networking strategies for sustainable development", *Journal of Cleaner Production*, vol. 12, pp. 469-478.

Piorr, H. (2003), "Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 98, pp. 17-33.

Primdahl, J. (1999), "Agricultural landscapes as places of production and for living in owner´s versus producer´s decision making and the implications for planning", *Landscape and Urban Planning*, vol. 46, pp. 143-150.

Princen, T. (2003), "Principles for sustainability: from cooperation and efficiency to sufficiency", *Global Environmental Politics*, vol. 3, no. 1, pp. 33-50.

Raufflet, E. (2005), *Las paradojas del manejo forestal. La experiencia de Tlalmanalco*, UAM-Iztapalapa/Plaza y Valdéz, México.

Ridder D. and C. Wostl-Pahl (2005), "Participatory integrated assessment in local level planning", *Environ. Change*, no. 5, pp. 188-196.

Shivakoti, G. and B. Thapa (2005), "Farmers´ perceptions of participation and institutional effectiveness in the management of mid-hill watersheds in Nepal", *Environment and Development Economics*, vol. 10, pp. 665-687.

Stockle, C., R. Papendick, K. Saxton, G. Campbell and F. van Evert (1994), "A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems", *American Journal of Alternative Agriculture*, 9(1-2), pp. 45-48.

Straton, A. (2006), "A complex systems approach to the value of ecological resources", *Ecological Economics*, 56, pp. 402-411.

Vásquez-León, M., C. Thor and T. Finan (2003), "A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border", *Global Environmental Change*, no. 13, pp. 159-173.

Vargas, F. (1998), *Iztaccíhuatl-Popocatépetl, un parque nacional*, SEMARNAP, México.

Wakefield, S., S. Elliot, J. Eyles and D. Cole (2006), "Taking environmental action: the role of local composition, context and collective", *Environmental Management*, vol. 31, no. 1, pp. 40-53.

Weston, R. and M. Ruth (1997), "A dynamic, hierarchical approach to understanding and managing natural economic systems", *Ecological Economics*, no. 21, pp. 1-17.

Yohe, G. and R. Tol (2002), "Indicators for social and economic coping capacity – moving toward a working definition of adaptive capacity", *Global Environmental Change*, no. 12, pp. 25-40.

El marco MESMIS, estudios de caso en Iberoamérica y Norteamérica

Quetzalcóatl Orozco Ramírez
Erika N. Speelman
Marta Astier
Yankuic Galván Miyoshi
Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco-UNAM)
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) fue propuesto en 1995. Desde esa fecha atrajo la atención de investigadores, organizaciones no gubernamentales (ONG) orientadas al desarrollo rural, manejadores de recursos naturales, y en general de personas interesadas en la sustentabilidad, tanto en el concierto nacional como internacional. Sobre todo, ha llamado la atención en Latinoamérica porque fue diseñado para aplicarse en el contexto campesino de los países en vías de desarrollo.

A la fecha se han realizado más de 50 estudios de caso que han incorporado al MESMIS como marco de análisis y discusión. Éstos se han realizado principalmente en México, Centroamérica y Sudamérica y, en menor medida, en Norteamérica y Europa. Una de las intenciones más importantes dentro del desarrollo de esta metodología ha sido la sistematización y el análisis de las diferentes experiencias generadas, las cuales proporcionan lecciones importantes para su mejoramiento e implementación en el futuro. Los esfuerzos se han sistematizado y documentado en diferentes iniciativas: Masera y López-Ridaura (2000) y Astier y Hollands (2005). Estos esfuerzos documentan en total once experiencias de evaluación en diferentes regiones de México y Latinoamérica. Por otro lado, Aliana (2003) analiza la implementación del marco MESMIS y los resultados específicos de más de treinta estudios de caso.

Este trabajo tiene por objetivo presentar de forma muy general el MESMIS, y conocer los estudios de caso generados hasta finales de 2006 en América y

España. Esta es la revisión más actual de las aplicaciones del marco. Se incluyen dos aspectos clave de su aplicación: los indicadores utilizados en las experiencias prácticas y las recomendaciones que emiten para mejorar el marco. Además se da información de la ubicación de cada estudio, la entidad encargada de elaborarlo y el tipo de sistema que se evaluó.

El marco MESMIS

El MESMIS es una herramienta metodológica que ayuda a evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales, con énfasis en el contexto de los productores campesinos y en el ámbito local, desde la parcela hasta la comunidad. Brinda una reflexión crítica destinada a mejorar las posibilidades de éxito de las propuestas de sistemas de manejo alternativo y de los propios proyectos involucrados en la evaluación. El marco se propone como un proceso de análisis y retroalimentación. Se busca evitar proporcionar con su aplicación simplemente una calificación de los sistemas de manejo en escalas de sustentabilidad.

Así mismo, busca entender de manera integral las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales con el ámbito social y económico. Evalúa la sustentabilidad comparativa de los sistemas de manejo, ya sea mediante la confrontación de uno o más sistemas alternativos con un sistema de referencia o bien mediante la observación de los cambios de las propiedades de un sistema de manejo particular a lo largo del tiempo.

Metodológicamente presenta una estructura flexible para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente. Asimismo, propone un proceso de evaluación participativo que enfatiza dinámicas de grupo y una retroalimentación continua del equipo evaluador. La experiencia de su aplicación permite mejorar el modelo y constituye una herramienta en desarrollo. En este sentido, debe entenderse al MESMIS como un método para organizar, más no agotar, la discusión sobre sustentabilidad y la forma de hacer operativo el concepto.

El MESMIS está dirigido a instituciones de investigación, ONG y organizaciones de productores involucradas en el diseño, el desarrollo y la difusión de sistemas de manejo de recursos naturales. Además, su estructura se ha desarrollado para ser compatible con el Marco de Evaluación del Manejo Sustentable de Tierras (FESLM) promovido por la FAO (FAO, 1994).

El objetivo principal del MESMIS es brindar un marco metodológico para evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de manejo de recursos naturales a escala local (parcela, unidad productiva, comunidad). Se parte de las premisas siguientes:

- El concepto de sustentabilidad se define a partir de cinco atributos generales de los agroecosistemas o sistemas de manejo: *a)* productividad; *b)* estabilidad, confiabilidad y resiliencia; *c)* adaptabilidad; *d)* equidad, y *e)* autodependencia (autogestión).
- La evaluación de sustentabilidad que se lleva a cabo es válida solamente para: *a)* sistemas de manejo específicos en un determinado lugar geográfico y un contexto social y político; *b)* una escala espacial (parcela, unidad de producción, comunidad o cuenca) previamente determinada; y *c)* una escala temporal también previamente determinada.
- La evaluación de sustentabilidad es una actividad participativa que requiere de una perspectiva y un equipo de trabajo interdisciplinarios. El equipo de evaluación debe incluir tanto a evaluadores externos como a los involucrados directos (agricultores, técnicos, representantes de la comunidad y otros actores).
- La sustentabilidad no puede evaluarse *per se* sino de manera comparativa o relativa. Para esto existen dos vías fundamentales: *a)* comparar la evolución de un mismo sistema a través del tiempo (comparación longitudinal), o *b)* comparar simultáneamente uno o más sistemas de manejo alternativo o innovador con un sistema de referencia (comparación transversal). Esto marca una diferencia fundamental con otros marcos como el FESLM (*Ibid.*).
- La evaluación de sustentabilidad es un proceso cíclico que tiene como objetivo central el fortalecimiento tanto de los sistemas de manejo como de la metodología utilizada.

Operativamente, para dar concreción a los atributos generales, se define una serie de puntos críticos para la sustentabilidad del sistema de manejo que se relacionan con tres áreas de evaluación (ambiental, social y económica). En cada área de evaluación se definen criterios de diagnóstico e indicadores. Este mecanismo asegura una relación clara entre los indicadores y los atributos de sustentabilidad del agroecosistema (Figura 1).

La información obtenida mediante los diferentes indicadores se integra finalmente utilizando técnicas de análisis multicriterio, con el fin de emitir un

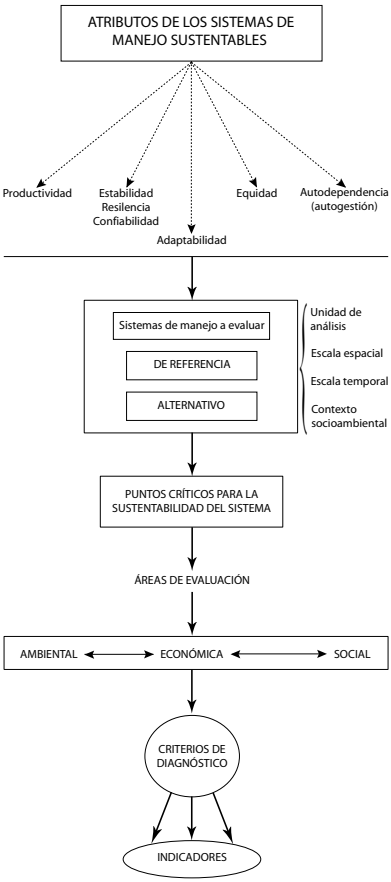


Figura 1. Esquema general del MESMIS: relación entre atributos e indicadores.

juicio de valor sobre los sistemas de manejo y brindar sugerencias para mejorar su perfil socioambiental. Para aplicar la metodología, se propone un ciclo de evaluación que comprende los siguientes elementos o pasos (Figura 2).

1. Determinación del objeto de la evaluación. En este paso se definen los sistemas de manejo que se han de evaluar, sus características y el contexto socioambiental de la evaluación.
2. Determinación de los puntos críticos que pueden incidir en la sustentabilidad de los sistemas de manejo que se van a evaluar.

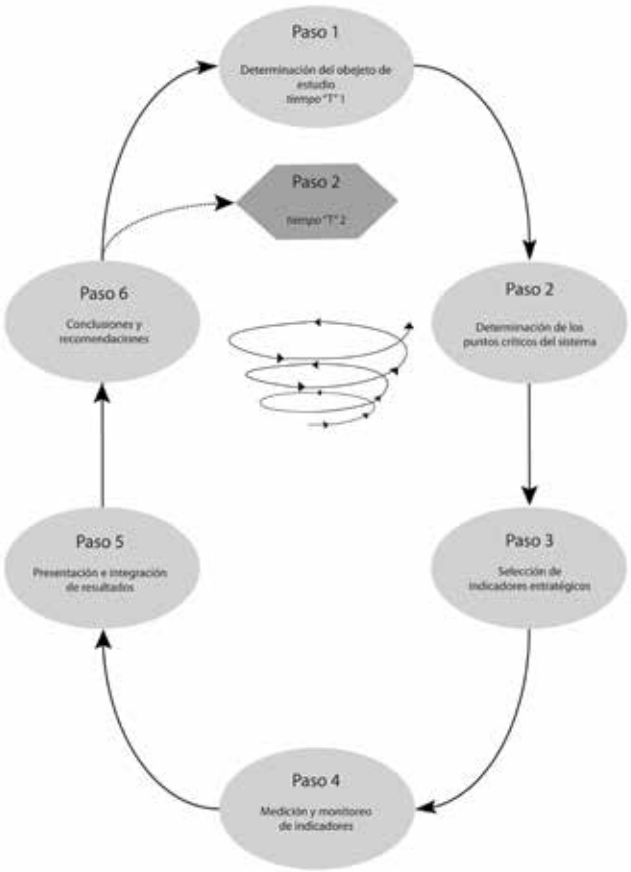


Figura 2. El ciclo de evaluación MESMIS.

3. Selección de indicadores. Aquí se determinan los criterios de diagnóstico y se derivan los indicadores estratégicos para llevar a cabo la evaluación.
4. Medición y monitoreo de los indicadores. Este paso incluye el diseño de los instrumentos de análisis y la obtención de la información deseada.
5. Presentación e integración de resultados. Aquí se compara la sustentabilidad de los sistemas de manejo analizados y se indican los principales obstáculos para la sustentabilidad, así como los aspectos que más la favorecen.
6. Conclusiones y recomendaciones. Por último, en este paso se hace una síntesis del análisis y se proponen sugerencias para fortalecer la susten-

tabilidad de los sistemas de manejo, así como para mejorar el proceso mismo de evaluación.

Al realizar estos seis pasos se habrá avanzado en la conceptualización de los sistemas y los aspectos que se desean mejorar, para hacerlos más sustentables, y con esto se da inicio a un nuevo ciclo de evaluación. Para conocer de forma completa del marco metodológico revisar a Masera *et al*. (2001).

Estudios de caso donde se ha aplicado

Desde 1995 el MESMIS ha sido aplicado por universidades, centro de investigación, ONG y grupos de campesinos con el fin de evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de manejo de recursos naturales. Las experiencias obtenidas durante la aplicación del marco ha generado una gran cantidad de información que año con año se ha utilizado para refinar algunos de los aspectos metodológicos y promover su aplicación a un número mayor de proyectos.

La lista de los estudios de caso de los que se tiene conocimiento se presenta en las Tablas 1, 2 y 3, para los estudios de México, el resto de América y Europa, respectivamente. En cada tabla se indica la referencia, la localización, la institución encargada del estudio y el sistema de manejo evaluado. Se sabe de otros dos estudios en proceso: uno que evalúa el turismo en comunidades rurales en el estado de Quintana Roo y el otro aplicado a sistemas de producción de hortalizas en Uruguay.

En total se registraron 42 estudios realizados. La mayoría se han llevado a cabo en México (26), en el resto de América 13 y en Europa tres. También destaca que las universidades y los centros de investigación son las instituciones que más han aplicado el marco, con 28 estudios en total; en seguida se ubican las ONG con 11 casos y por último las organizaciones de campesinos o incluso granjas familiares con tres estudios. Sin embargo, es claro que en todos los estudios se ha recurrido a las comunidades, las granjas, las fincas, o las empresas para obtener la información y en todos los casos se generan recomendaciones para mejorar el sistema en cuestión. En algunos casos también se han hecho evaluaciones conjuntas entre universidades o centros de investigaciones y ONG y organizaciones de campesinos.

Respecto a los tipos de sistemas que se evalúan, los sistemas agrícolas son los más socorridos, con 20 estudios, en seguida están los sistemas silvopastoriles, con 11 estudios. Seis casos son ganaderos; dos agroforestales; uno forestal y uno

sobre suelos forestales. Además, se ha evaluado un programa de educación ambiental, y se está realizando otro estudio de caso sobre actividades turísticas. Los sistemas agrícolas y agrosilvopastoriles tienen en común que comparan sistemas manejados convencionalmente contra sistemas manejados de manera alternativa, estos últimos incorporan prácticas que minimizan el impacto negativo medio ambiental.

Indicadores utilizados en los estudios de caso

De un total de 42 estudios de caso registrados se eligieron 21 con base en la cantidad y calidad de la información disponible. A partir de este conjunto de estudios fue posible entender mejor la aplicación del marco en la práctica, así como la naturaleza y las características principales de los indicadores. A partir de esta revisión, se evaluó el grado de flexibilidad del marco para ser utilizado en diversos tipos de sistemas de manejo de recursos naturales.

En términos generales, en los estudios de caso se ha utilizado un conjunto de indicadores relativamente pequeño. La gran mayoría (86 % de los estudios) tiene menos de 25 con un promedio de 18 por estudio. Los casos extremos van desde ocho (North y Hewes, 2006) hasta 49 indicadores (Bobo, 2002). Esto sugiere que el marco permite que los equipos de evaluación identifiquen un conjunto robusto de indicadores, sin la necesidad de incurrir en listas extensas.

Los atributos estabilidad, resiliencia y confiabilidad son los mejor representados, en particular mediante el indicador de biodiversidad –ya sea de cultivos o de especies en general– utilizado en el 66 % de los casos, junto con los indicadores de calidad de suelo como balance de nutrientes, erosión y fertilidad, con el 57 % (Tabla 4). También se presentan indicadores que sólo fueron usados por un estudio de caso, por ejemplo algunos muy específicos para describir la salud del hato (Pérez, 1999) y otros como la migración y la renta, y la venta de tierras (Wehbe *et al.*, 2005). Quizá la atención que se pone en estos atributos se deba al concepto mismo de sustentabilidad que hace referencia a un mantenimiento a lo largo del tiempo. Por el mismo motivo se pone énfasis en el suelo y sus propiedades, éste es el elemento básico de la producción agrícola, pecuaria o forestal. De hecho, resalta que en dos estudios la evaluación se hizo estrictamente sobre el suelo.

La productividad es el atributo de sustentabilidad que se evalúa con menos diversidad de indicadores. El rendimiento es el indicador que invariablemente se usa en todos los estudios que tienen que ver con alguna forma de producción, ya sea agrícola, pecuaria o forestal. Aunque es menos constante que el anterior, la

Tabla 1. Estudios de caso en México donde se ha aplicado el MESMIS

Núm.	Referencia	Localización	Organización	Sistemas evaluados
1	Alemán Santilán *et al.* (2003, 2005)	Los Altos de Chiapas, México	ECOSUR[1]	Sistema agrosilvopastoril extensivo *vs.* Sistema agrosilvopastoril intensivo.
2	Astier *et al.* (2000)	Cuenca alta del lago de Zirahuén, México	GIRA A.C.[2]	Sistema agrícola tradicional *vs.* Sistema agrícola comercial.
3	Astier *et al.* (2003, 2005)	Cuenca alta del lago de Zirahuén, México	GIRA A.C. [2]	Sistema tradicional maíz-frijol *vs.* Sistema diversificado.
4	Brunett Pérez *et al.* (2005)	Valle de Toluca, Mexico	CICA[1], UAEM[1]	Sistema agropecuario convencional *vs.* Sistema agropecuario con innovaciones tecnológicas de pastoreo intensivo.
5	Covaleda *et al.* (2006)	Atecuaro, Michoacán, México	USAL[1]	Suelo bajo manejo forestal.
6	Cruz Jiménez *et al.* (1998)	San Pedro Pareo (Cuenca lago Pátzcuaro), México	UMSNH[1]	Sistema convencional de hortalizas *vs.* Producción orgánica de hortalizas.
7	Goméz *et al.* (2005)	Chihuahua, México	CIEPSP UNAM[1]	Empresas pecuarias con y sin manejo holístico.
8	Guevara *et al.* (2000)	Sureste de México, México	Proyecto Pachuca1,[2]	Sistema maicero de roza, tumba y quema *vs.* Sistema maicero alternativo con rotación de cultivos (maíz y mucura).
9	Hernández (1999)	Valle Morelia-Queréndaro, México	UMSNH[1]	Sistemas agrosilvopastoriles.
10	Hernández (2002)	Norte del Valle de Toluca, México	UAEM[1]	Sistema agropecuario extensivo *vs.* Sistema agropecuario intensivo.
11	Hernández y Rodríguez (1998)	Álvaro Obregón, México	UMSNH[1]	Sistema convencional de trigo *vs.* Sistema de trigo alternativo con cultivos de cobertura.
12	López *et al.* (2006)	Tabasco, México	UT[1]	Proyecto de educación ambiental.
13	Moya García *et al.* (2005)	Xohuayán, México	EDUCE[2], MAC[2], K-ET XIIMBAL[2] E'HIMAAC S.C.[3], UAY[1], INAH[1], UACh[1]	Sistema tradicional de roza, tumba y quema *vs.* Sistema modificado con diversificación de cultivos y medidas de conservación de suelos.

14	Narváez (1996)	Municipio San Juan Guichicovi, México	UACh[1]	Tres sistemas maiceros.
15	Narváez (1996)	Municipio San Juan Guichicovi, México	UACh[1]	Sistemas agrosilvopastoriles de mediana escala *vs.* Sistemas agrosilvopastoriles de pequeña escala.
16	Narváez (1996)	Municipio San Juan Guichicovi, México	UACh[1]	Sistema agrosilvopastoril con buenos suelos *vs.* Sistema agrosilvopastoril en suelos pobres.
17	Negreros-Castillo *et al.* (2000)	Zona Maya de Quintana Roo, México	OEPFZM[3]	Sistema forestal por concesión, antes de 1985 *vs.* Sistema forestal comunal, después de 1985.
18	Perales Rivas *et al.* (2000)	Región Sur de Sinaloa, México	CESSI/INIFAP[1], UACh[1]	Sistema agrosilvopastoril extensivo *vs.* Sistema agrosilvopastoril alternativo.
19	Pérez-Grovas (2000)	Los Altos de Chiapas, México	Unión de Ejidos Majomut[3]	Sistema de café orgánico *vs.* Sistema de café convencional.
20	Pulido (2000)	Nuevo San Juan Parangaricutiro, México	UMSNH[1]	Sistema agrosilvopasoril indígena.
21	Rendón (2004)	Varios lugares de México	CIESTAAM[1]	Sistemas agrícolas convencionales, mixtos y orgánicos de México.
22	Rodríguez i Tohá, (2000)	Jalisco, México	UL[1]	Sistema agrosilvopastoril en tierras arrendadas *vs.* Sistema agrosilvopastoril en tierras propias.
23	Sánchez (2001)	Zona alta del Mezquital, México	UACh[1]	Sistema agroforestal sin agua *vs.* Sistema agroforestal con agua.
24	Travieso y Moreno-Casasola (2005)	Veracruz, México	INECOL[1]	Sistemas de ganadería bovina.
25	Trigueros (2002)	Michoacán, México	UW[1]	Sistemas agrícolas tradicionales.
26	Villa (2002)	Tenango del Valle, México	UAEM[1]	Sistema agrícola *vs.* Sistema agrícola y ganadero.

[1)] Universidad/Instituto de investigación, [2)] ONG, [3)] Grupo/Organización de campesinos.

Tabla 2. Estudios de caso en América donde se ha aplicado el MESMIS

Núm.	Referencia	Localización	Organización	Sistemas evaluados
11	Cárdenas *et al.* (2006)	Departamento del Valle del Cauca, Colombia	UNISARC[2] ACOC[3]	Sistemas cafetaleros campesinos orgánicos.
22	Cardoza (2003)	Piura, Perú	Centro Ideas[2]	Producción en pequeña escala.
33	Claverías (2000)	Capachica, Perú	CIED[2]	Sistema agropecuario resiliente *vs.* Sistema agropecuario no resiliente.
44	Delgadillo y Delgado (2003)	Comunidad Chullpakasa, Bolivia	AGRUCO[1]	Sistema agrícola con prácticas de conservación de suelo tradicionales *vs.* Sistema agrícola con prácticas de conservación de suelo mejoradas.
55	Frías y Delgado (2003)	Comunidad Tres Cruces, Bolivia	AGRUCO[1]	Sistema tradicional agrosilvopastoril *vs.* Sistema agrosilvopastoril innovador, basado en principios agroecológicos.
66	Gomero y Velásquez (2003)	Solo y San Miguel de Sisa, Perú	RAAA[2]	Sistema tradicional de producción de algodón *vs.* Producción orgánica de algodón.
77	Gomes de Almeida *et al.* (2002)	Remigio, Brasil	AS-PTA[2]	Sistema agrosilvopastoril tradicional *vs.* Sistema agrosilvopastoril basado en principios agroecológicos.
88	Gomes de Almeida y Bianconi (2003)	São Mateus do Sul, Brasil	AS-PTA[2]	Sistema agroforestal tradicional *vs.* Sistema agroforestal mejorado, basado en principios agroecológicos.
99	North y Hewes (2006)	New Cork, EUA	Granja familiar[3]	Sistema de borregas lecheras.
110	Pérez (1999)	Sabana de Bogotá, Colombia	UBJTL[1]	Sistema bovino lechero.
111	Rosenfeld (1998)	Misiones, Argentina	UIA[1]	Seis diferentes sistemas de manejo para la producción agrosilvopastoril de pequeña escala.
112	Sarandón (2001)	Colónia Güemes, Argentina	UNLP[1]	Cinco diferentes sistemas de producción de tabaco.
113	Wehbe *et al.* (2005)	Córdoba, Argentina.	UNRC[1]	Sistemas de producción de cacahuate reconvertidos a soya.

[1)] Universidad/Instituto de investigación, [2)] ONG, [3)] Grupo/Organización de campesinos.

Tabla 3. Estudios de caso en Europa donde se ha aplicado el MESMIS

Núm.	Referencia	Localización	Organización	Sistemas evaluados
1	Alonso y Guzmán (2006)	Los Pedroches, Córdoba, España	CIFAED1	Olivar ecológico y convencional.
2	Bobo (2002)	Asturias, España	USC, UTAD1	Sistemas de producción hortícola convencionales y orgánicos.
3	Neira *et al.* (2003)	Islas Canarias, España	EPS de Lugo1	Sistema de producción de plátanos.

[1)] Universidad/Instituto de investigación, [2)] ONG, [3)] Grupo/Organización de campesinos.

Tabla 4. Indicadores más utilizados por atributo

Atributo	Indicador	Porcentaje de uso en estudios de caso
Productividad	Rendimiento	66
	Relación beneficio/costo, ingresos	52
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Biodiversidad o riqueza	66
	Propiedades del suelo	57
Adaptabilidad	Permanencia en el sistema o utilizando un paquete tecnológico	29
Equidad	Repartición de los beneficios	19
Autogestión	Participación	38
	Dependencia de insumos externos	52

rentabilidad medida de variadas formas está presente en el 52 % de los casos. Ésta se mide generalmente con la relación beneficio/costo o ingresos totales. Pocos son los estudios que utilizan otros indicadores como el balance energético (Neira *et al*., 2003), o la capacidad de ahorro de la familia (Gómez de Almeida *et al*., 2002). El uso recurrente de los mismos indicadores muestra que este atributo es uno de los mejor apropiados por los equipos evaluadores. Se entiende completamente su significado y sólo se hacen adecuaciones para el sistema en particular. Caso contrario ocurre con los atributos adaptabilidad y equidad, en donde los indicadores representan situaciones más específicas al contexto de cada sistema de manejo.

La adaptabilidad parece ser un atributo que se ha entendido de diversas maneras por los equipos de evaluación. En algunos estudios se utiliza como la capacidad de adaptación del sistema a nuevos contextos ambientales y sociales; en otros como el grado de adopción de una tecnología; y en otros es posible que exista una confusión del concepto porque se usan indicadores de diversidad de cultivos o cualidades del suelo. Puede ser que la adaptabilidad se vea desde una óptica distinta, considerando que la diversidad y la calidad del suelo pueden contribuir a mejorarla. Este atributo es el que, comparado con los demás, se evalúa de forma menos exhaustiva. En promedio, para este atributo, se usan sólo dos indicadores, aunque en algunos casos (24 %) no se derivó ninguno.

El atributo de equidad también está poco representado, en comparación con otros, con tres indicadores en promedio. En el mismo sentido que la adaptabilidad se conceptualiza de manera diferente entre estudios. En algunos casos se entiende como la distribución de los beneficios al interior del sistema (por ejemplo el reparto de beneficios, participación de la mujer o de la organización que promueve el sistema). En otros se entiende como el nivel de acceso a las innovaciones tecnológicas que tienen los productores. En otros más se concibe como un problema de distribución de costos ambientales (Alonso y Guzmán, 2006), quizá como una medida de la responsabilidad de los sistemas de producción para mantener un ambiente limpio para toda la población.

En relación con el atributo autogestión, la participación es un indicador más o menos constante, aunque evaluado de formas diferentes. Se presenta en el 38% de los estudios. La dependencia de insumos externos es otro indicador que se repite en varios estudios (52 %). Esto indica que la autogestión, también llamada autodependencia, se entiende de forma similar por todos los grupos de evaluación. Aunque en el 24 % de los casos este atributo no se evalúa o sólo se hace con un indicador.

Los indicadores de corte ambiental están más relacionados con los atributos de estabilidad, resiliencia y confiabilidad. Se concibe a las variables ambientales como fuentes de información para evaluar el sistema, en particular el suelo y en algunos casos el agua. Sin embargo, no se toman en cuenta otras variables de mayor escala como la precipitación u otros fenómenos climáticos porque éstos se consideran como externos al sistema, sobre los cuales los manejadores de los recursos no tienen capacidad de modificación. Estas variables se conciben como el contexto donde se desarrolla el sistema, las cuales se deben tomar en cuenta para generar estrategias de adaptación.

Recomendaciones al marco

En los estudios de caso analizados resaltan las pocas recomendaciones que se hacen al marco. Muchos lo recomiendan por ser una herramienta útil, que les permite evaluar un sistema de forma participativa y generando recomendaciones específicas para el sistema, sin llegar a tener como resultado un número o índice de sustentabilidad. En un estudio en particular se menciona que se debe poner mucha atención en la selección de los indicadores y en las escalas de valores que se usen para evaluarlos, porque pueden modificar los resultados (Bobo, 2002).

En los procesos de evaluación las conclusiones y recomendaciones han girado en torno a: *a)* incorporar en la evaluación otros subsistemas y sistemas poco analizados, que también tienen relación con el sistema de manejo en cuestión; así como llevar la evaluación a escalas más amplias; *b)* mejorar los procesos de comunicación y discusión entre el equipo evaluador y los actores locales, *c)* profundizar en aspectos poco trabajados, como indicadores cualitativos y de naturaleza social.

Conclusiones

El análisis de las distintas experiencias de evaluación muestra que el marco es una herramienta útil para la evaluación integral y la identificación de las ventajas comparativas de los sistemas de manejo y las alternativas para mejorarlos. También ha contribuido a mejorar los procesos de toma de decisiones en las evaluaciones de sustentabilidad. El marco MESMIS ha facilitado exitosamente la evaluación de una gran diversidad de sistemas de manejo, en condiciones biofísicas y socioeconómicas contrastantes y con capacidades técnicas y disponibilidad

de recursos diversos; desde organizaciones de productores rurales hasta instituciones y centros de investigación. Además de servir para evaluar sistemas que no son propiamente de producción como el suelo, o aun programas de educación ambiental.

El análisis somero que se hace de los indicadores utilizados en los estudios arroja cuatro conclusiones principales:

- El trabajo más exhaustivo de levantamiento de información se da en el área ambiental y económica. Los atributos más evaluados son resiliencia, estabilidad y confiabilidad.
- El enfoque para la evaluación de ciertos atributos, como la confiabilidad y la equidad, es diferente en algunos estudios. Dando como resultado que se usen indicadores que a veces se utilizan en otros estudios para evaluar otra propiedad.
- El atributo de productividad se evalúa con indicadores muy parecidos en todos los estudios, la producción y la rentabilidad invariablemente se miden en los sistemas de producción agrícola, pecuaria o forestal.
- Los indicadores del área social son los menos constantes entre un estudio y otro, excepto en el caso del grado de participación, el cual es el favorito para evaluar la autogestión. Además de ser el área menos representada en cuanto al número de indicadores usados.

Referencias

Alemán Santilán, T., J. Nahed Toral y J. López Méndez (2003), "Sostenibilidad y agricultura campesina: la produción agrosilvopastoril en los Altos de Chiapas, México", en Gianella-Estrems, T. y J. Chavez-Tafur (eds.), *LEISA Revista de Agroecologia* (edicion especial) – ocho estudios de caso, ILEIA, Lima, Perú, pp. 18-23.

Alemán Santilán, T., J. Nahed Toral y J. López Méndez (2005), "Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción ovina en comunidades tzotziles", en Astier, M. y J. Hollands (eds.), *Sustentabilidad y Campesinado. Seis experiencias agroecologicas en Latinoamérica*, MundiPrensa-GIRA-ILEIA-ICCO, México, pp. 11-56.

Aliana, C. N. (2003), *Estudios de caso aplicando el marco MESMIS: recopilación, sistematización y análisis*, tesis de licenciatura, Universidad de Lleida/UNAM, México.

Alonso, A. y G. Guzmán (2006), "Evaluación comparada de la sostenibilidad agraria en el olivar ecológico y convencional", *Agroecología,* vol. 1, Universidad de Murcia, España, pp. 63-73, [http://www.um.es/ojs/index.php/agroecologia/article/view/21/9, 1 de marzo de 2007].

Astier, M. y J. Hollands (2005), *Sustentabilidad y campesinado: seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*, Mundiprensa, ILEIA, ICCO, GIRA, México.

Astier, M., E. Pérez Agis, F. Mota García, O. Masera y C. Alatorre Frenk (2000), "El diseño de sistemas sustentables de maíz en la Región Purhépecha", en M. O. A. L. – R. S. (ed.), *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural*, MundiPrensa-GIRA-UNAM, México.

Astier, M., E. Pérez-Agis, T. Ortiz y F. Mota García (2003), "Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de cinco años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS", en Gianella-Estrems, T. y J. Chávez-Tafur (eds.), *LEISA Revista de Agroecología* (edición especial) – ocho estudios de caso, ILEIA, Lima, Perú, pp. 39-46.

Astier, M., E. Pérez-Agis, T. Ortiz y F. Mota García (2005), "Sustentabilidad de Sistemas Campesinos de maíz después de cuatro años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS", en Astier, M. y J. Hollands (eds.), *Sustentabilidad y Campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*, MundiPrensa-GIRA-ILEIA-ICCO, México, pp. 85-120.

Bobo, M. S. (2002), *Evaluación de la sustentabilidad de la explotación hortícola convencional y ecológica, estudio de caso en Asturias*, tesis de Maestría, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.

Brunett, L., C. González y L. García (2005), "Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores", *Livestock Research for Rural Development* 17(7), p. 78.

Cárdenas, G., H. Giraldo, A. Idárraga y L. Vásquez (2006), "Desarrollo y validación de metodología para evaluar con indicadores la sustentabilidad de sistemas productivos campesinos de la asociación de caficultores orgánicos de Colombia-ACOC", UNISARC, ACOC Colombia, [http://www.javeriana.edu.co/fear/m_des_rur/documents/Cardenas-ponencia.pdf, 1 de marzo de 2007].

Cardoza G., R. (2003), "La experiencia de producción y comercialización agroecológica del pequeño productor", Pablo Durand Alama, Centro IDEAS Programa Piura, Perú.

Claverías, R. (2000), *Cultura y resiliencia en los sistemas de producción en las comunidades campesinas en Puno*, CIED, Perú.

Covaleda, S., J. Gallardo, C. Prat y J. Etchevers (2006), "Calidad del suelo en una toposecuencia afectada por deforestación en Atécuaro (Michoacán, México)", *Memorias del IV Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental*, Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, mayo, Cáceres, España.

Cruz Jiménez, R., J. López Osorio y T. Román Guzmán (1998), "Evaluación de la sustentabilidad del sistema de producción de hortalizas en San Pedro Pareo, municipio de Pátzcuaro", Universidad Michoacana San Nicolás Hidalgo, México.

Delgadillo, P. J. y F. Delgado Burgoa (2003), "Evaluación de la implementación de prácticas de conservación de suelos: el caso de la comunidad Chullpa K'asa, Bolivia", en Gianella-Estrems, T. y J. Chávez-Tafur (eds.), LEISA *Revista de Agroecología* (edición especial) –ocho estudios de caso, ILEIA, Lima, Perú, pp. 24-31.

Delgadillo, P. J. y F. Delgado Burgoa (2005), "Evaluación de la sustentabilidad de un sistema basado en la implementación de prácticas de conservación de suelos, en la comunidad de Chullpakasa, Bolivia", en Astier, M. y J. Hollands (eds.), *Sustentabilidad y Campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*, MundiPrensa-GIRA-ILEIA-ICCO, México, pp. 203-246.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO; 1994), *FESLM: an International framework for evaluating sustainable land management*, World Soil Resources Report, Roma, Italia: FAO.

Frías, R. S. C. y B. F. Delgado (2003), "Estudio de indicadores de sostenibilidad del sistema familiar campesino en ecosistema de Montaña: el caso de la comunidad de Tres Cruces", Gianella-Estrems, T. y J. Chávez-Tafur (eds.), LEISA *Revista de Agroecología* (edición especial) –ocho estudios de caso, ILEIA, Lima, Perú, pp. 32-38.

Gomero Osorio, L. y H. Velásquez Alcántara (2003), "Evaluación de la sustentabilidad del sistema de algodón orgánico en la zona de trópico húmedo del Perú", en Gianella-Estrems, T. y J. Chávez-Tafur (eds.), LEISA *Revista de Agroecología* (edición especial) –ocho estudios de caso, ILEIA, Lima, Perú, pp. 47-52.

Gómez de Almeida, S., G. Bianconi Fernández, L. Marçal da Silveira, J. Camelo Rocha e I. Gabre Tardin (2002), *Transiçâo agroecológica: estudo de caso no agreste paraibano*, Documento interno ILEIA, Río de Janeiro, Brasil, pp. 47-52.

Gómez de Almeida, S. y G. Bianconi Fernández (2003), "Monitoreo económico de la transición agroecológica: estudio de caso de una propiedad familiar del sur de Brasil", en Gianella-Estrems, T. y J. Chávez-Tafur (eds.), LEISA *Revista de Agroecología* (edición especial) – ocho estudios de caso, ILEIA, Lima, Perú, pp. 58-63.

Gómez, G., J. L. Dávalos y C. González-Rebeles (2005), "Descripción de empresas pecuarias con prácticas de manejo holístico", *II Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Medio Ambiente*, 24-28 octubre, Puebla, México.

Guevara, F., T. Carranza, R. Puentes y C. González. (2000). "La sustentabilidad de sistemas maíz-mucuna en el sureste de México (primer ciclo de evaluación)", en Masera, O. y S. López-Ridaura (eds.), *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural*, MundiPrensa-GIRA-UNAM, México, pp. 207-269.

Hernández, E. A. (2002), *Indicadores económicos para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas campesinos maíz-leche en dos comunidades del norte del valle de Toluca*, tesis licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México.

Hernández, S. (1999), *Sustentabilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales en la agricultura en el Valle Morelia-Queréndaro: el caso de la UPAVM-Q*, Universidad Michoacana San Nicolás Hidalgo, Morelia.

Hernández, S. e I. Rodríguez (1998), *Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de trigo (Triticum aestivum) convencional, en el municipio de Álvaro Obregón, y con incorporación previa de janamargo (Vicia sativa), en Morelia, durante el ciclo otoño-invierno de 1997-1998, utilizando indicadores de sustentabilidad (MESMIS)*, Universidad Michoacana San Nicolás Hidalgo, Morelia.

López, C., E. López, S. Cappello, S. y J. Álvarez (2006), "Avances de indicadores de sustentabilidad del proyecto de educación ambiental en Olcuatitán, Nacajuca, Tabasco", División de Ciencias Biológicas, Tabasco [http://www.ujat.mx/dip/divulgacion_videocientifico2006/dacbiol.pdf, 1 de marzo de 2007].

Masera, O., M. Astier y S. López- Ridaura (2001), *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de evaluación MESMIS*, 2ª. reimp., Mundi-Prensa-GIRA-UNAM, México.

Masera, O. R. y S. López-Ridaura (2000), *Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural*, Mundiprensa, GIRA, Programa Universitario de Medio Ambiente e Instituto de Ecología-UNAM, México.

Moya García, X., A. Caamal, B. Ku Ku, E. Chan Xool, I. Armandáriz, J. Flores, J. Moguel, M. Noh Poot, M. Rosales y J. Xool Domínguez (2005), "La sustentabilidad que viene de lejos: una evaluación multidisciplinaria e intercultural de la agricultura campesina de los mayas en Xohuayán, Yucatán", Astier, M. y J. Hollands (eds.), *Sustentabilidad y Campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica,* MundiPrensa-GIRA-ILEIA-ICCO, México, pp. 161-202.

Narváez, C. G (1996), *Evaluación de la sustentabilidad campesina*, tesis de Maestría en Desarrollo Rural Regional, Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Centros Regionales Universitarios, diciembre.

Negreros-Castillo, P., J. C. González-Núñez y L. Merino-Pérez (2000), "Evaluación de la sustentabilidad del sistema de manejo forestal de la Organización de Ejidos Productores Forestales de la Zona Maya de Quintana Roo", en Masera, O. y S. López-Ridaura (eds.), *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural*, MundiPrensa-GIRA-UNAM, México, pp. 83-141.

Neira, X., A. Marín, A. Gómez, J. Cancela, T. Cuesta y J. Dafonte (2003), *Gestión del agua en zonas secas: definición de indicadores de sostenibilidad*, EPS de Lugo, Lugo, España.

North, K. and D. Hewes (2006), "Toward sustainability: monitoring farm progress", *Leisa Magazine*, marzo, pp. 44-46 [http://www.leisa.info/FritZ/source//getblob.php?o_id=80650&a_id=211&a_seq=0, 1 de marzo de 2007].

Perales Rivas, M. A., L. E. Fregoso Tirado, C. O. Martínez Alvarado, V. Cuevas Reyes, A. Loaiza Meza, J. E. Reyes Jiménez, T. Moreno Gallegos, O. Palacios Velarde y J. L. Guzmán Rodríguez (2000), "Evaluación del sistema agro-silvo-pastoril del sur de Sinaloa", en Masera, O. y S. López-Ridaura (eds.), *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural*, MundiPrensa-GIRA-UNAM, México, pp. 143-206.

Pérez, M. A. (1999), *Evaluación de la sostenibilidad predial en el sistema de producción bovino de leche en la sabana de Bogotá*, publicación 26, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.

Pérez-Grovas Garza, V. (2000), "Evaluación de la sustentabilidad del sistema de manejo de café orgánico en la Unión de Ejidos Majomut, región de los Altos de Chiapas", en Masera, O. y S. López-Ridaura (eds.), *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural*, MundiPrensa-GIRA-UNAM, México, pp. 45-81.

Pulido S, J. (2000), *El sistema productivo tradicional de una comunidad indígena mexicana: el caso de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Rendón, M. R. (2004), *Evaluación comparativa de sustentabilidad en sistemas agrícolas convencionales, mixtos y orgánicos de México*, tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Chapingo, Centro de Investigación Económica, Sociológica y Tecnológica de la Agricultura y la Agroindustria Mundial (CIESTAAM), Chapingo, Estado de México.

Rodríguez i Toha, O. (2000), *Definición de criterios de diagnóstico e indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de dos agroecosistemas de la comunidad de Juanacatlán, Jalisco (México)*, Universidad de Lleida, España.

Rosenfeld, V. A. (1998), *Evaluación de sostenibilidad agroecológica de pequeños productores (Misiones-Argentina*), Universidad Internacional de Andalucia, España.

Sánchez, F. V. (2001), *Propuesta de manejo agroforestal sustentable para la zona alta del Mezquital*, tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM, Estado de México.

Sarandón, S. (2001), "Aplicación de indicadores para evaluar la sustentabilidad de sistemas productivos agrícolas en Colonia Güemes, Misiones, Argentina", *IV Encuentro de Agricultura Orgánica*, Cuba.

Travieso, A. y P. C. Moreno Casasola (2005), "Evaluación de indicadores de sustentabilidad para la ganadería bovina en Veracruz central, México", *II Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Medio Ambiente*, 24-28 octubre, Puebla, México.

Trigueros Vilella, C. (2002), *System characterization within a multi-scale sustainability evaluation framework, using nutrient balance and economic performance indicators for field and farm scale. A case study in Michoacán (Mexico)*, tesis de Maestría, Erasmus Student. Department of Plant Science, Wageningen.

Villa M., C. I. (2002), *Primer ciclo de evaluación de sustentabilidad del agroecosistema de Tenango del Valle, Estado de México: aplicación del marco MESMIS en dos sistemas de estudio*, tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Wehbe, M. B., R. A. Seiler, M. R. Vinocur, H. Eakin, C. Santos and H. M. Civitaresi (2005), "Social methods for assessing agricultural producers vulnerability to climate variability and change based on the notion of sustainability", *AIACC Working Paper* No. 19, [http://www.aiaccproject.org/working_papers/Working%20Papers/AIACC_WP_No019.pdf, 1 de marzo de 2007].

Determinación de indicadores ambientales a escala detallada para la evaluación biofísica y la planeación del territorio: el caso de Milpa Alta, Distrito Federal

María de Lourdes Rodríguez Gamiño
Jorge López Blanco
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

Los indicadores ambientales surgen de la necesidad de contar con fuentes de información que permitan describir el estado en que se encuentra el ambiente biofísico y los recursos naturales. Ellos se han considerado como indispensables dentro del diseño de políticas de manejo y planeación por los gobiernos locales. Los indicadores del desarrollo se definen como la cuantificación de información, la cual ayuda a explicar cómo están cambiando las condiciones a través del tiempo (Farrow y Winograd, 2001).

Los indicadores ambientales se definen como estadísticas o parámetros que proporcionan información y tendencias sobre las condiciones de los fenómenos ambientales (INE, 1997). La Organización para la Cooperación del Desarrollo Económico (OCDE) establece que un indicador cuantifica y simplifica los fenómenos y ayuda a entender la realidad compleja, por lo tanto, un indicador muestra información sobre los cambios que se presentan en un sistema socioambiental. Stein y Riley (2001) establecen que el valor de los indicadores ambientales depende de su escala temporal-espacial y de su utilidad para los tomadores de decisiones, debido a que auxilian en la elaboración de propuestas de administración del capital natural y sobre todo porque son una herramienta de comunicación en general.

Los indicadores permiten acceder a información sobre los factores biofísicos y socioeconómicos, que representan los dos elementos claves del complejo ambiental biofísico (CSIRO, 1998), debido a que no son solamente una pieza de información cuantitativa, sino que describen un factor ambiental y regis-

tran sus tendencias de avance para conseguir un objetivo establecido (*Ibid.*). Asimismo, los indicadores ambientales representan un método de evaluación y deben: *a)* explicar lo referente a un problema o a una cuestión de interés; *b)* unir el sistema con el problema mismo en una forma transparente; *c)* ser aplicables a varios sistemas y ser capaces de mostrar cambios a través del tiempo, y *d)* ser viables para registrarse o calcularse a un costo razonable. Esto permite múltiples medidas en varios sistemas y el monitoreo del estado del ambiente, la comparación de diferentes subsistemas y el mantenimiento de los indicadores (Gaunt *et al.*, 1997).

Desarrollo y enfoques sobre indicadores ambientales

El desarrollo de los indicadores se inicia en la década de los años ochenta en Canadá y en algunos países de Europa, con la finalidad de tener información para medir el desarrollo sustentable; asimismo, la Agenda 21 de las Naciones Unidas (ONU) estableció como objetivo promover ese tipo de desarrollo. *Nuestro futuro común*, también conocido como el *Informe Brundtland*, señala a la pobreza de los países del sur y al consumismo extremo de los países del norte, como las causas fundamentales de la insostenibilidad del desarrollo y la crisis ambiental.

Posterior a ello se creó la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), con la disposición de monitorear el progreso hacia ese tipo de desarrollo. Ante el panorama global de las políticas de integración ambiental y socioeconómica que promueven las Naciones Unidas y la OCDE, Banco Mundial-PNUMA, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas, entre otras, constituyen una respuesta mundial para logar un crecimiento económico global y por consiguiente generar la posibilidad de un mejor desarrollo en todos los ámbitos. En la Tabla 1 se sintetizan las diferentes experiencias de instituciones que han trabajado en la propuesta de indicadores con diferentes niveles de análisis.

En México el desarrollo de los indicadores surgió a partir de la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en 1994, trabajó en la línea ambiental como en la del desarrollo sustentable, considerando el enfoque metodológico de *Presión-Estado-Respuesta* de la OCDE, desarrollando un sistema de indicadores para evaluar el desempeño de la política ambiental (Quiroga, 2001). En la Tabla 2 se presenta una relación de las instituciones que han trabajado sobre la definición y aplicación de los indicadores de sustentabilidad en México.

Tabla 1. Instituciones que trabajan en la propuestas de iniciativas de indicadores ambientales y de sustentabilidad a niveles: internacional, regional y local

Organismos	Escala internacional
OCDE, ONU y Banco Mundial	1. A Better World for All 2000.
PNUMA	2. División de estadísticas. Grupo de trabajo 2001.
ONU	3. Intergubernamental sobre el avance de estadísticas ambientales 2001.
PNUMA	4. "Shaping the 21st Century" 2001.
Banco Mundial, PNUMA	5. Indicadores del desempeño ambiental 2001.
PNUMA, OCDE	6. Compendio de datos ambientales 1999.
	Escala regional y local
CIAT-Banco Mundial-PNUMA	7. Proyecto de indicadores ambientales y de sustentabilidad para América Latina y el Caribe y Proyecto de indicadores ambientales y de sustentabilidad rural para América Central 2000.
Agencia Ambiental Europea	8. Estado del ambiente en la Unión Europea 2000.
Nordic Council of Ministers	9. A Nordic Set of Indicator 2003.

Nota: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE); Organización de las Nacionaes Unidas (ONU); Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Criterios de selección de los indicadores

La selección de los indicadores es una fase importante dentro del proceso de construcción de bases de información ambientales para la planeación territorial. En primera instancia está la evaluación de los datos que deben ser de calidad, confiables, tener una escala temporal y espacial apropiada y los costos para su obtención y/o elaboración deben ser bajos. Por otra parte, en las características de los indicadores se deben considerar la mensurabilidad, pertinencia, representatividad, sensibilidad a los cambios, especificidad y conexiones causales. Asimismo, es importante la utilidad de los indicadores para el usuario, por eso deben tener validez, cantidad limitada, claridad en el diseño, aplicabilidad, no ser redundantes, retrospectividad y predicción.

Tabla 2**.** Instituciones que trabajan en la propuesta de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México a nivel nacional, regional y local

Organismos	Escala Nacional
SEMARNAT	1. Desarrollo de Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental de México, 1997.
	2. La evaluación del desempeño ambiental. Reporte, 2000.
	3. Reporte, 2000; Indicadores básicos del desempeño ambiental de México, 2005.
INEGI	4. Indicadores de desarrollo sustentable en México, 2000.
	Escala regional y local
INE y EPA	5. Situación Ambiental en la Región Fronteriza. Reporte de Indicadores 2005.
Universidad Autónoma de Chihuahua	6. Indicadores en Chihuahua: Determinación de criterios e indicadores ambientales y de sostenibilidad en la región Bosque Modelo Chihuahua, 2002.
Consejo Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo	7. Indicadores ambientales del Estado de Hidalgo, 2003.
Instituto de Ecología, UNAM	8. Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Indicadores de Sustentabilidad en México (MESMIS; 2000).

Nota: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Instituto Nacional de Ecología (INE); Environmental Protection Agency (EPA).
Fuente: elaboración a partir de la información recabada en los talleres de diagnóstico y en la evaluación de los sistemas de producción agropecuarios 2005-2006.

Los principales pasos en los procesos de definición de indicadores, según Rennings y Wiggering (1997) son: *a)* identificar los elementos principales del capital natural y de sus funciones económicas; *b)* seleccionar los elementos más importantes que se encuentren en riesgo, para ser evaluados por un indicador, y *c)* construir indicadores que reflejen la condición actual del ambiente en relación con los estándares sustentables.

Se han establecido criterios de selección de los indicadores, usando una estructura de "componentes" y "problema", por lo que es posible crear un indicador basado en un número de criterios, por ello los indicadores deben presentar las siguientes características: *a)* medibles, *b)* relevantes, *c)* representativos, *d)* sensitivos a cambios, *e)* específicos y *f)* ser claros en cuanto a causa-efecto.

Winograd y Farrow (2000) proponen que dentro de la selección de indicadores se deben considerar los siguientes aspectos: *a)* la evaluación de los datos, los que deben ser de alta calidad, confiables y considerar su escala espacial y temporal, y ser apropiados en los costos; *b)* las características de los indicadores: deben tener posibilidad de medición, pertinencia, representatividad, sensibilidad a cambio, especificidad y conexiones causales claras; *c)* utilidad para el usuario: considerando la validez, claridad en el diseño, aplicabilidad, no redundantes, ser retrospectivos y que permitan la predicción.

La identificación y selección de los indicadores de acuerdo con el SCIRO (1998) debe considerar los siguientes aspectos: *a)* contar con un intervalo de escalas en espacio y tiempo aplicado al manejo ambiental; *b)* la existencia de datos y la generación de nuevos datos para ser usados; *c)* contar con un programa de monitoreo para establecer los hechos y tendencias; *d)* consistencia a través de la jurisdicción para ser aplicados en un estado y/o en un territorio.

Por otra parte, dentro del diseño de monitoreo y el manejo de datos se deben considerar los siguientes aspectos: *a)* variabilidad natural y sensibilidad de la presión de los componentes que están siendo medidos; *b)* cantidad de cambios que se quieren detectar; *c)* métodos de muestreo; *d)* frecuencia de muestreo; *e)* número de muestras colectadas, y *f)* tiempo y escalas de espacio del muestreo y los indicadores que puedan ser compatibles.

Función de los indicadores

Según Moldan y Billharz (1997), las funciones más importantes de los indicadores son: *a)* comparar lugares y situaciones; *b)* evaluar condiciones y tendencias en relación con los objetivos y metas; *c)* proveer anticipadamente de información, y *d)* anticipar condiciones futuras y tendencias.

Además, el uso de los indicadores requiere una definición de métodos y un profundo análisis científico para su evaluación (Gaunt *et al.,* 1997), por lo que deben: *a)* relatar explícitamente un problema o cuestión de interés para quienes están ajenos a un sistema en el cual se aplican los indicadores; *b)* enlazar el sistema con los propios problemas de una forma transparente; *c)* ser aplicables a varios sistemas y ser capaces de mostrar cambio a través del tiempo, y *d)* ser factibles para registrarse o calcularse a un costo razonable.

Indicadores ambientales a escala local

Los indicadores basados en datos locales proveen información práctica para los procesos de monitoreo hacia el desarrollo sustentable. Siendo necesario contar con instrumentos que puedan medir y facilitar el progreso hacia los objetivos sociales, ambientales y económicos. De esta manera, la selección e interpretación de los indicadores ha comenzado a formar parte integral de las políticas nacionales e internacionales en años recientes (Reed *et al.,* 2006).

En los indicadores determinados a nivel local es importante que las comunidades participen durante los procesos de planeación e implementación de proyectos, incluyendo su selección, colección y monitoreo (Corbiere-Nicollier *et al.,* 2003). En otras palabras, los indicadores no sólo pueden ser relevantes para la población local, ya que los métodos usados para colectar, interpretar y desplegar datos, deben ser usados por no especialistas y para que las comunidades puedan ser participantes activos dentro de procesos de selección de indicadores (Carruthers y Tinning, 2003).

Con respecto a la determinación de los indicadores ambientales a escala local, Bell y Morse (2001) mencionan que existen dos paradigmas metodológicos; el primero que habla de los indicadores que elaboran los expertos que van de "arriba hacia abajo" (*top-down*) o de lo general a lo particular; este enfoque encuentra sus raíces epistemológicas en el reduccionismo científico y es usado explícitamente para establecer indicadores cuantitativos. Son comunes en campos que incluyen la ecología del paisaje, geomorfología ambiental, economía, ciencia del suelo, conservación biológica, etc. Los indicadores sirven para cuantificar la complejidad y la dinámica de los sistemas naturales, aunque muchas veces no se hace énfasis en la diversidad y en las perspectivas de los poseedores de los recursos naturales (Reed *et al.,* 2006).

El segundo paradigma está basado en las decisiones de la comunidad que va de "abajo hacia arriba" (*bottom-up*) o de lo particular a lo general, referido como enfoque "conversacional" (Bell y Morse, 2001). Esto se aplica más a las ciencias sociales, que incluye a la antropología cultural, al activismo social, educación de adultos, estudios de desarrollo y psicología social. Las investigaciones realizadas bajo este enfoque, enfatizan la importancia de entender el contexto local para elaborar objetivos y establecer prioridades, donde el monitoreo debe ser un proceso de aprendizaje entre los investigadores y las comunidades (Freebairn y King, 2003).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo ha sido el determinar y evaluar algunos indicadores ambientales a escala detallada (1:20 000) y especificar el es-

tado actual en que se encuentra el ambiente. Asimismo, generar información básica y aplicada que pueda ser utilizada en la elaboración de programas y proyectos de planeación para el manejo de los recursos naturales en Milpa Alta, Distrito Federal.

Caso de estudio: Milpa Alta, en el sur de la Cuenca de México

Área en estudio

La delegación Milpa Alta se ubica al sur del Distrito Federal y geográficamente se localiza entre los 19º 13' y 19º 03' de latitud norte y los 98º 57' y 99º 10' de longitud oeste, y ocupa una superficie de 28 464 ha. Políticamente limita al norte con las delegaciones Xochimilco y Tláhuac, al este con el Estado de México, al oeste con las delegaciones Xochimilco y Tlalpan y al sur con el Estado de Morelos (Figura 1).

El área se caracteriza por tener un relieve montañoso con un intervalo altitudinal que va de 2 230 a 3 680 msnm. Geológicamente se encuentra dentro de la formación Chichinautzin, la cual está conformada por un conjunto de conos monogenéticos, flujos lávicos y productos volcánicos asociados de formación reciente, ya que pertenece al Cuaternario, lo cual es posible observar en la morfología del área en estudio (Martin, 1980). El clima, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), es templado húmedo con lluvias en verano $C(w_2)(w)$, con una temperatura media anual de 15.9º C y una precipitación anual de 756.1 mm. Los suelos son de origen volcánico y la vegetación está representada por bosques de pinos (*Pinus hartwegii*, *P. montezumae* y *P. leiophylla*), bosque de oyamel (*Abies religiosa*), bosque mixto (*Pinus* sp., *Alnus* sp., y *Quercus* sp.), pastizal y matorral (INEGI, 1984).

Metodología

Determinación de los indicadores ambientales

Para la realización de este estudio se consideró el enfoque metodológico Presión-Estado-Respuesta (PER) propuesto por la OCDE, para establecer los indicadores ambientales, los cuales deben responder a determinados criterios y ser pertinentes para la acción, analíticamente sólidos y mensurables; por lo tanto, deben ser funcionales (Avéros, 1997). Los indicadores de presión describen las actividades humanas que ejercen presión sobre el ambiente. Lo indicadores de estado des-

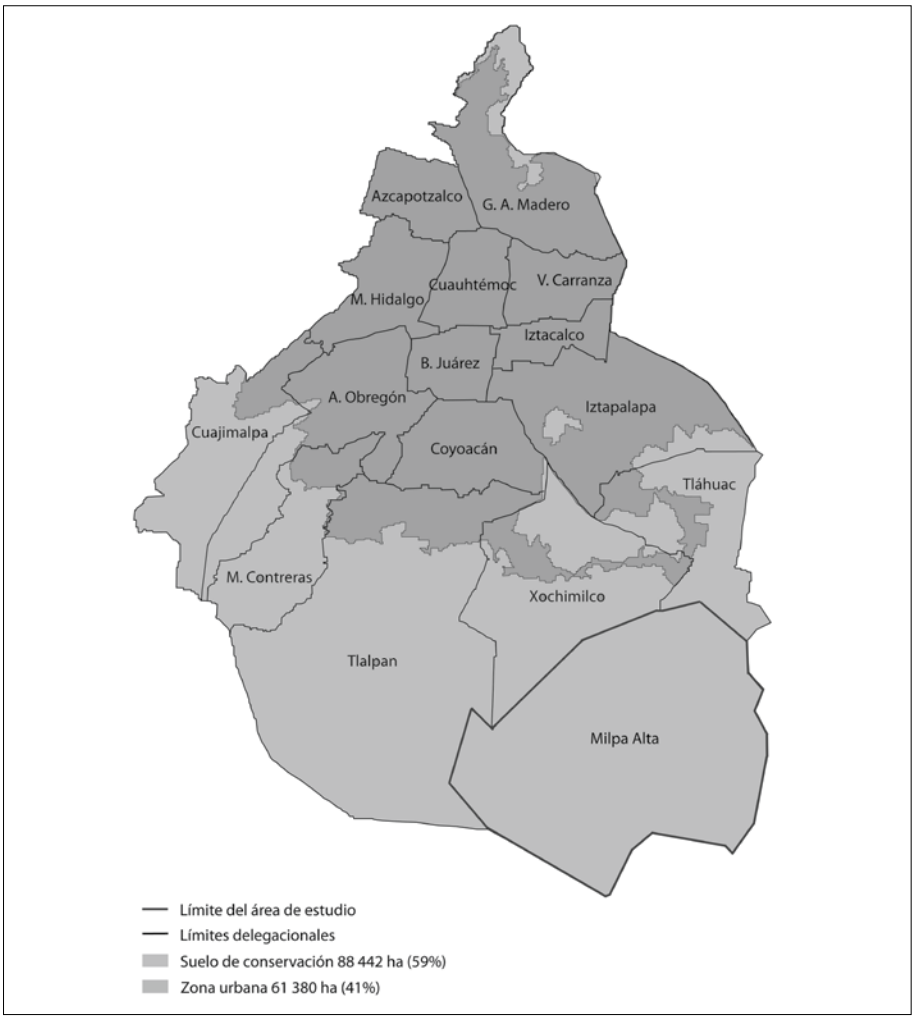


Figura 1. Localización del área en estudio.

criben algunas medidas físicas características del ambiente (Segnestam, 2002). Considerando lo anterior se han tomado en cuenta, en este trabajo, la aplicación de los siguientes indicadores de presión y estado, exclusivamente, clasificándolos a partir de su tipología correspondiente como se presentan en la Tabla 3. En la parte de resultados se mencionan y analizan, iniciando con los indicadores de estado, aun cuando es claro que hay una interdependencia entre todos ellos y que

parte de las condiciones que se caracterizan ahora con los indicadores de estado, dependen efectivamente de lo que caracterizan los indicadores de presión.

Se realizó una revisión y recopilación bibliográfica, con el fin de identificar la mayor cantidad posible de información que fuese útil para la evaluación. Se revisaron las cartas topográficas y temáticas de Milpa Alta y Amecameca a escala 1:50 000 (INEGI, 1984) y las cartas topográficas a escala 1:10 000 (DDF, 1984) que sirvieron de base para la elaboración de los mapas del área en estudio. Se obtuvieron las fotografías aéreas a escala 1:25 000 y 1:75 000 (INEGI, 1970 y 1994) y del Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2000) a escala 1:20 000.

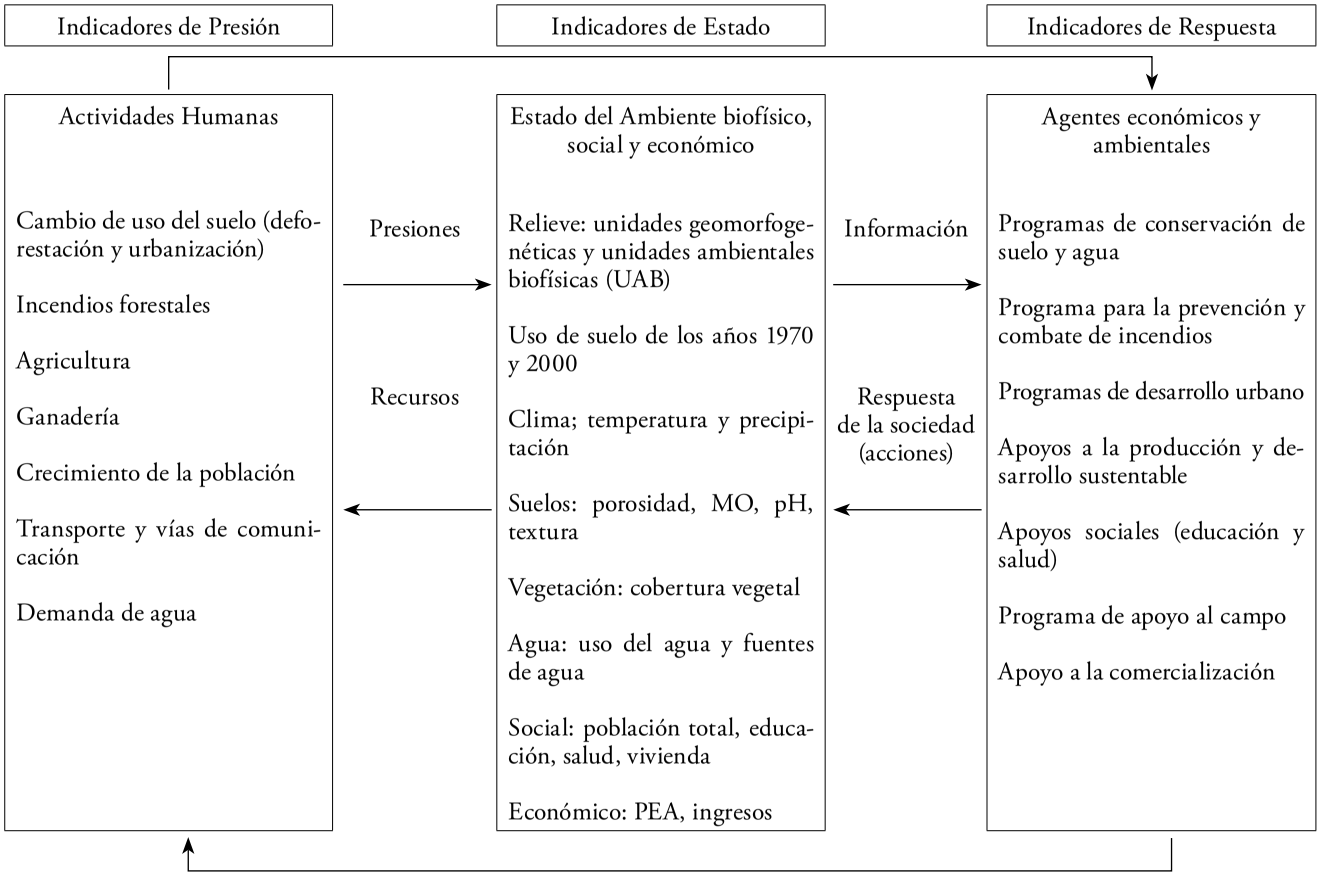
A fin de contar con información sistemática sobre las formas del terreno, los procesos geomorfológicos y los fenómenos naturales conexos, se delimitaron unidades geomorfológicas morfogenéticas en las fotografías aéreas a escala 1:75 000, de acuerdo con Verstappen y Van Zuidam (1991), las cuales sirvieron de base en la definición de las unidades ambientales biofísicas (UAB), y que se definen como una unidad espacial que ofrece oportunidades para la identificación y la aplicación de manejo de los recursos naturales (Eswaran *et al.,* 2000), de ahí la importancia de considerarlas para la evaluación de los indicadores.

Se trabajó con las fotografías aéreas, las cuales fueron georreferenciadas y se aplicó una corrección fotogramétrica, posteriormente se digitizaron con apoyo de un sistema de información geográfica (SIG), utilizando el programa ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*; ITC, 2005). Una vez que se delimitaron las áreas, se obtuvo un mapa de unidades geomorfológicas, las cuales de acuerdo con sus características de relieve y propiedades biofísicas complementarias, se agruparon para obtener los grupos de UAB.

Mediante un proceso de fotointerpretación se obtuvo el uso de suelo y la cobertura vegetal en fotografías aéreas a escala 1:25 000 de 1970 y a escala 1:20 000 del 2000, con ello se realizó un análisis multitemporal al tomarse como referencia la clasificación de cobertura vegetal y uso del suelo de INEGI (1984), que consiste en: bosque de *Pinus* sp., *Abies religiosa*., *Alnus* sp., y *Quercus* sp. Así como pastizal natural e inducido; matorral espinoso y crasicaule; agricultura de temporal de cultivos permanentes y semipermanentes, y uso de suelo urbano, principalmente habitacional (INEGI, 1984). La clasificación que se empleó en la definición de las clases de cobertura vegetal a partir de la fotointerpretación, fue la de Moncayo (1970), la cual considera las categorías: alta (> 50%), media (25-50 %), baja (5-25 %) y muy baja (0-5 %).

La información de clima se obtuvo del análisis de los datos de temperatura y precipitación de 16 estaciones meteorológicas que tienen influencia en el área en estudio, considerando el periodo comprendido de los años de 1961 al 2000.

Tabla 3. Indicadores considerados para el estudio en la delegación Milpa Alta, D. F.



En relación con los incendios forestales, la información de número de incendios, superficie y vegetación afectada proviene de los reportes de 1994 a 2003 de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) del Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2003). Los datos sobre sitios afectados por incendios se localizaron mediante coordenadas UTM en un mapa a escala 1:20 000, utilizando cuadrantes de 1 km^2, considerando la misma disposición y nomenclatura de lo establecido por la CORENA.

La selección de sitios de toma de muestras superficiales de suelo se hizo a partir de las unidades geomorfológico morfogenéticas, a una profundidad entre 0 a 30 cm. Los sitios de muestreo se georreferenciaron mediante un localizador GPS. Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron utilizando una malla de 2 mm de abertura. Las propiedades físicas que se determinaron fueron: humedad por secado en estufa a peso constante, densidad aparente (Da), densidad real (Dr) y porosidad de acuerdo con el *Soil Survey Staff* (1999) y textura por el método de Bouyoucos (SEMARNAT, 2002). Entre las propiedades químicas que se analizaron fueron el pH en agua por el método del potenciómetro con electrodo de vidrio, materia orgánica (MO) de acuerdo con Walkley y Black (1934), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con base en el *Soil Survey Staff* (1999); cationes intercambiables de Ca^{2+} y Mg^{2+} por la SEMARNAT (2002); Na^{+} y K^{+} por flamometría.

Para contar con información sobre vegetación, en cada sitio de levantamientos botánicos se trazaron tres círculos con una superficie individual de 995 m^2 (total por sitio 2 985 m^2). La elección de los sitios de muestreo, se llevó a cabo con base en dos criterios: *a)* la composición de la vegetación, y *b)* su estado de conservación. Se obtuvieron datos sobre altura, frecuencia, diámetro a la altura de pecho (DAP), número de tocones y de árboles muertos, regeneración natural, incendios, áreas perturbadas y conservadas. Para determinar y verificar las especies arbóreas y arbustivas que se midieron y se colectaron en campo, se identificaron con las claves taxonómicas de Rzedowski y Rzedowski (2001) y Sánchez (1980), con apoyo del personal del MEXU del Instituto de Biología de la UNAM.

Para conocer la opinión de la gente local sobre los recursos naturales y la problemática de las actividades económicas en el área de la delegación, se aplicaron 29 entrevistas con los representantes de bienes comunales, productores y representantes territoriales de los pueblos de la delegación Milpa Alta. Se aplicaron 57 preguntas sobre las condiciones ambientales del área; enfocadas sobre cambios en las condiciones climáticas, erosión y degradación de suelos, abastecimiento y carencia de agua, superficie forestal y problemas relacionados con incendios, plagas, enfermedades, tala clandestina y la presencia de fauna, observada en los

últimos años. Con respecto a los sistemas de producción, se obtuvo información sobre la producción y los mercados, cantidad de personas que se dedican a las actividades agropecuarias, el uso de fertilizantes, herbicidas o insecticidas, aplicación de tecnología en los cultivos, rendimientos, uso de maquinaria agrícola y acceso a créditos.

Resultados y discusión

Indicadores de estado y unidades ambientales biofísicas (UAB)

A partir de la caracterización ambiental de las unidades geomorfológico morfogenéticas se obtuvieron los grupos de unidades ambientales biofísicas (UAB), (Figura 2 y Tabla 4), las cuales se caracterizan por ser de origen endógeno volcánico acumulativo de fines del Pleistoceno y principios del Holoceno, conformadas por andesitas-basálticas, andesitas y dacitas (Martin, 1980). De acuerdo con los factores biofisicos y de uso del suelo, las UAB presentan las siguientes características:

1. Unidades con relieve endógeno volcánico acumulativo de laderas de montaña (internas y externas) de conos cineríticos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con altitudes entre 2 752 a 3 610 msnm, con pendientes de 5 a 28º. Con humedad del suelo entre 29 y 67 %, densidad aparente de 0.62 a 0.97 g/cm^3, con pH tendiente a la neutralidad y con alto contenido de materia orgánica. En estas unidades la cobertura vegetal y el uso de suelo en 1970 fue forestal, con densidad media. Para el 2000 se dio el mismo uso, pero con una cobertura vegetal con densidad menor (media a baja). Los tipos de vegetación están representados por bosque de pino donde predomina el *Pinus montezumae, P. hartwegii* y *Abies religiosa*. Es un grupo de unidades bien conservadas, a pesar de las alteraciones por incendios, como lo muestra la presencia de un sotobosque de *Senecio salignus* y *S. barba johanis*.
2. Unidades con relieve endógeno volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con altitudes entre 3 380 a 3 550 msnm y pendientes de 4 a 16º. Los suelos presentan un porcentaje de humedad de 36 a 54 %, con densidad aparente de 0.54 a 0.72 g/cm^3, con pH neutro y con un elevado contenido de materia orgánica, por la influencia de la vegetación de bosques de *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*. En general, la mayoría de las áreas de este tipo, se encuentran

bien conservadas en cuanto a su cobertura forestal, ya que se ubican en los lugares más alejadas de las localidades y están menos sujetas a la actividad antrópica, a pesar de que en ellas se presentan árboles quemados en su corteza y presencia de *Lupinus spp.*

3. Unidades con relieve endógeno volcánico acumulativo de laderas medias de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas) con altitudes de 3 150 a 3 380 msnm y pendientes de 7 a 13º, con suelos que tienen un porcentaje de humedad de 52 a 54 % y densidad aparente de 0.54 a 0.74 g/cm^3, con pH neutro y un elevado contenido de materia orgánica, por la influencia de la vegetación de bosque de pino donde predomina la especie de *Pinus montezumae*. En estas unidades la cobertura vegetal y el uso del suelo para 1970 era forestal con densidad de alta a media. Para el 2000 se dio el mismo uso, pero con una cobertura vegetal con densidad menor (media a baja).
4. Unidades con relieve endógeno volcánico acumulativo de laderas inferiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con altitudes de 2 390 a 3 150 msnm y pendientes de 7 a 17º, con suelos que tienen un porcentaje de humedad de 48 a los 54 %. La densidad aparente es de 0.54 a 0.57 g/cm^3, con pH ligeramente ácido y un elevado contenido de materia orgánica, por la influencia de la vegetación de bosques de *Pinus montezumae y Alnus jorullensis*. Algunas áreas han estado sujetas a programas de reforestación, por lo que se observa gran cantidad de árboles pequeños de *Pinus* spp y *Cupressus lindleyi*, además se realizan actividades como el retirado de biocombustibles y de la vegetación herbácea (*chaponeo*), saneamiento forestal y control de incendios mediante la apertura de brechas cortafuego. En estas unidades se presentan afloramientos rocosos de basalto cubiertos de musgos y líquenes, por la altitud a la que se encuentra, se presentan lluvias abundantes lo cual influye sobre los contenidos de humedad en el suelo; la vegetación está representada por matorral de *Juniperus sp*. y bosque de *Pinus montezumae* dispersos por las condiciones rocosas del terreno.
5. Unidades con relieve endógeno volcánico acumulativo de laderas superiores, medias e inferiores de lomeríos de conos cineríticos del Pleistoceno (andesitas y basaltos) con altitudes de 3 056 a 3 150 msnm y pendientes de 6 a 15º, con suelos que tienen humedad de 41 a 57 % y densidad aparente de 0.66 a 1 g/cm^3, su pH es moderadamente ácido y con porcentaje medio de materia orgánica. En estas unidades la cobertura vegetal y el uso de suelo en 1970 fue forestal y pastizal, con densidades de cobertura

de media a baja, para el 2000 las áreas de pastizales fueron cambiadas para uso de suelo agrícola de avena forrajera, y las coberturas pasaron de medias a bajas. Los tipos de vegetación están representados por bosque de pino con cobertura baja de *Pinus montezumae* y de pastizales. Aquel cambio influye en las características del suelo, por lo que se tiene, en los terrenos agrícolas, densidad aparente de 1 g/cm^3, debido al empleo de maquinaria en la preparación de los terrenos agrícolas. Estas unidades están sujetas a una incidencia muy alta de incendios forestales durante la temporada de estiaje, los campesinos queman el pasto con el fin de obtener renuevos para el ganado ovino, lo cual trae como consecuencia que no exista regeneración natural del bosque.

6. Unidades con relieve exógeno acumulativo aluvial y mixto de piedemontes holocénicos de montañas y lomeríos, con altitudes de 2 995 a 3 199 msnm, y pendientes de 3 a 4º, con suelos que tienen humedad del 45 al 50 %, una densidad aparente que va de los 0.59 a los 0.72 g/cm^3, el pH es moderadamente ácido y tienen un porcentaje alto de materia orgánica. En estas unidades la cobertura vegetal y el uso de suelo en 1970 fue de agricultura con densidad baja de cultivos de avena forrajera y pastizales que se emplean en el pastoreo de ganado ovino. Para el 2000 las áreas que eran de pastizales pasaron a ser agrícolas dedicadas al cultivo de avena forrajera. Sus residuos influyen para que se tengan altos porcentajes de materia orgánica, además de que estas unidades se localizan en piedemontes acumulativos formados principalmente por material mineral y orgánico de depósito, proveniente de las partes altas de las laderas de montaña. Además en algunas áreas de estas unidades se encuentran las principales localidades urbanas de la delegación Milpa Alta, las cuales han tendido un crecimiento notable de superficie en ese periodo 1970-2000.
7. Unidades con relieve exógeno acumulativo aluvial de planicies holocénicas, generales, intermontanas, e internas de cráter de cono cinerítico, con altitudes de 2 378 msnm y pendientes de 0 a 6º, con suelos que tienen humedad de 18 a 68 %, y densidad aparente de 0.71 a 0.98 g/cm^3, el pH es neutro y presenta porcentajes de medios a bajos de materia orgánica. En estas unidades la cobertura vegetal y el uso de suelo en 1970 fue de agricultura de temporal con cultivos de maíz. Para el 2000 el cultivo principal en este sitio fue el de nopal verdura, y en algunas áreas urbanas del poblado de Villa Milpa Alta se presentaron incrementos altos de su superficie.

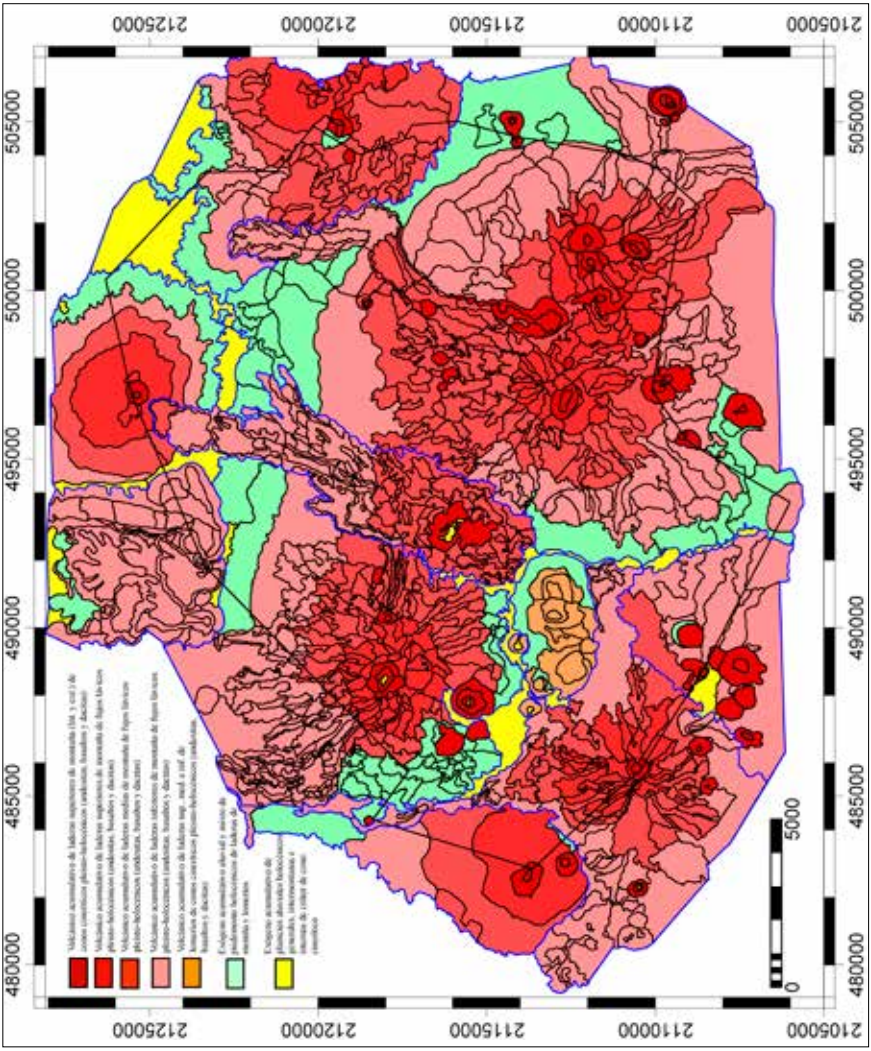


Figura 2. Mapa de las unidades ambientales biofísicas (UAB).

Tabla 4**.** Grupos de Unidades Ambientales Biofísicas delimitadas para Milpa Alta

Grupos de unidades ambientales biofísicas	Superficie (ha)
1. Volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña (internas y externas) de conos cineríticos pleisti-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas).	2 082
2. Volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas).	4 625
3. Volcánico acumulativo de laderas medias de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas).	11 946
4. Volcánico acumulativo de laderas inferiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas).	19 339
5. Volcánico acumulativo de laderas superiores, medias e inferiores de lomeríos de conos cineríticos del pleistoceno (andesitas y basaltos).	625
6. Exógeno acumulativo aluvial y mixto de piedemontes holocénicos de laderas de montaña y lomeríos.	6 277
7. Exógeno acumulativo de planicies aluviales holocénicas, generales, intermontanas, e internas de cráter de cono cinerítico.	2 001
Total	46 894

Indicadores de clima

En el análisis de temperatura y precipitación se tiene que esta última muestra una heterogeneidad en su distribución para toda el área en estudio, ya que se presentan precipitaciones de 1 545 mm anuales en las partes superiores a los 3 000 msnm y en el área más baja cercana a los 2 200 msnm se tienen 536 mm anuales. Asimismo, la temperatura media anual es de 14.4º C y está relacionada con los diferentes pisos altitudinales, esto es, a los 3 000 msnm se presenta una temperatura media de 9.5º C y a los 2 200 msnm es de 16.4º C.

Indicadores de suelo

Para el análisis de los indicadores de suelo se encontró que los que tienen cobertura forestal presentan baja densidad aparente (< 1 g cm^{-3}), lo cual se atribuye a la presencia de materiales orgánicos y compuestos amorfos de tipo alofánico que son comunes en los suelos del área en estudio. Presentan una buena estructura, agregación y elevada porosidad (> 60%), predominando la textura migajón-arenosa. Sin embargo, en las unidades con uso de suelo agrícola la densidad aparente es mayor a 1 g cm^{-3} debido a la compactación provocada por el empleo de

maquinaria agrícola. Los suelos con cantidades más elevadas de materia orgánica (MO) se localizan en las unidades ambientales biofísicas con uso de suelo forestal, aunque en algunas áreas agrícolas, particularmente en aquéllas donde se cultiva nopal verdura, su contenido en MO es elevado, por el empleo principalmente de abonos orgánicos. Los suelos con menores contenidos de materia orgánica se encuentran en las unidades ambientales biofísicas donde la cobertura vegetal es escasa y está formada principalmente por matorrales, por lo que el aporte de hojarasca al suelo es bajo y los suelos suelen tener menos de 10 cm de espesor al contacto lítico.

Los suelos son ligeramente ácidos en las unidades ambientales biofísicas donde la cobertura vegetal corresponde con bosque de *Pinus* sp., *Abies religiosa* y *Quercus* sp., mientras que en las unidades donde se realizan actividades agrícolas, los suelos son fuertemente ácidos, debido a los aportes de materiales orgánicos provenientes de la aplicación de abonos y fertilizantes. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la mayoría de las unidades es elevada, en parte debido a que los suelos son ricos en MO y a la presencia de compuestos amorfos derivados de la hidrólisis del vidrio volcánico. El complejo de cambio se encuentra dominado por el Ca^{2+} proveniente del intemperismo de los feldespatos cálcicos de andesitas basálticas.

Indicadores de fuentes y uso del agua

Las principales fuentes de agua potable son los pozos profundos ubicados en la porción baja (zona de descarga) del área en estudio y por medio de sistemas de bombeo es conducida a las partes altas, medias y bajas de la delegación. Milpa Alta tiene un abasto de agua que depende de dos sistemas de pozos profundos, uno ubicado en San Antonio Tecómitl y el otro entre Tecoxpa y Tecómitl. Otra fuente de abasto es de la red del acueducto Chalco-Xochimilco (DGCO, 1999). Según datos del Censo de Población realizado por el INEGI (2000), el abasto de agua en la delegación, de acuerdo con el número de viviendas habitadas, es del 87 %, considerado el más bajo y de menor calidad en el servicio con respecto a las otras delegaciones de la Ciudad de México. La delegación sólo cuenta con el manantial del Tulmiac, de donde se obtiene agua potable que abastece al pueblo de Parres en la delegación Tlalpan. Mientras que los pobladores de Milpa Alta utilizan el agua de este manantial para el ganado ovino, que pastorea en la zona.

En la Tabla 5 se presenta la cantidad de pozos que se encuentran dentro del área en estudio y los gastos de cada uno de ellos. A pesar de la gran cantidad de agua que se extrae en la zona de descarga, la población de la delegación no recibe beneficios económicos ni de abastecimiento de agua.

Tabla 5**.** Pozos de agua potable y gastos de extracción en Milpa Alta, D. F.

Instalación	Gasto en litros por segundo
Pozo Tecomitl No. 18	40
Pozo R-18	48
Pozo R-19	19
Pozo R-21	4
Pozo R-22	41
Pozo R-24	25
Pozo R-25	30
Pozo R-26	66
Pozo R-28	46
Pozo San Juan Tepenahuac	46
Pozo San Pedro Atocpan	40

Indicadores de población, educación, salud y vivienda

La superficie de Milpa Alta representa el 19 % del área del Distrito Federal, la zona ocupada por los doce poblados rurales abarca una extensión de 1 445 ha, que conforman los asentamientos de la delegación. Es la delegación con la mayor tasa de crecimiento en el Distrito Federal (4.32%), pero a pesar de este crecimiento, en Milpa Alta en el 2000 se censó una población de 96 773 habitantes (*Ibid.*), que representa solamente el 1.2 % del total del Distrito Federal (8 605 239 habitantes). Es la delegación más pequeña en términos demográficos y la segunda en extensión territorial (284.6 km^2), después de la delegación Tlalpan (339.4 km^2; INEGI; 2001). Entre 1950 y 2000, el ritmo de crecimiento de la población en la delegación se quintuplicó pasando de 18 212 habitantes en 1950 a 96 773 habitantes en el 2000.

En el 2000 se registró una población alfabeta mayor de 15 años de 60 325 personas, esto representa el 62.3 % del total de la población de la delegación. La población de 15 y más años que son analfabetas son 4 562 personas, apenas el 3.7 % de la población total. Esto significa que la mayoría de los habitantes han recibido alguna vez una instrucción de alfabetización. Por otra parte, la delegación cuenta con escuelas primarias, secundarias, bachilleratos y escuelas comerciales, lo que influye en una población de 20 885 personas que cuenta con estu-

dios técnicos y comerciales. En cuanto a la instrucción media superior se tienen 11 403 habitantes (11.8 %) y por último la población con instrucción superior es de 5 707 personas que representan el 5.8 %.

De la población total de la delegación se tiene que sólo 32 813 personas tienen derecho a los servicios de salud, lo que representa el 34 %, mientras que 62 490 habitantes (64.5 % de la población) no tienen derecho o no cuentan con los servicios de salud. Con respecto a las personas que están inscritas a instituciones de seguridad social, se tiene que 13 075 personas (13.5 %) son derechohabientes del IMSS, mientras que 18 998 personas (19.6 %) son derechohabientes del ISSSTE. Esto indica que falta integrar a una gran cantidad de población a algún servicio de salud, a pesar de que existen centros de salud de apoyo a la comunidad.

El fenómeno del crecimiento urbano en Milpa Alta se manifiesta a través de algunos indicadores como el crecimiento poblacional, la tasa de crecimiento, la densidad de población, el número y tipo de poblamiento, etc., se observa también en otra tendencia demográfica como la dinámica habitacional. Durante el periodo 1990-2000, Milpa Alta y Tláhuac fueron las dos delegaciones que presentaron la mayor tasa de crecimiento anual habitacional, 5.8 y 6 %, respectivamente (INEGI, 2000).

Por otra parte, la disposición de electricidad por vivienda está casi cubierta para el total de viviendas (98.3 %). Otro tipo de consumo energético, como el uso de combustibles domésticos, señala que el gas es el más utilizado para cocinar en la mayor parte de las viviendas (95.2 %) y de otras clases (leña, carbón, petróleo y electricidad) se ocupa en un porcentaje muy bajo (3.7 %). Lo anterior es importante, ya que la vivienda es el elemento que vincula la evolución demográfica con la dinámica espacial y socioeconómica de la ciudad; lo que permite relacionar el análisis demográfico con el poblamiento y por lo tanto con la expansión física de la metrópoli (INEGI, 2000).

Según el censo de 1970, en la delegación el total de viviendas era de 5 899 y para el 2000 se incrementó a 21 562 viviendas. Villa Milpa Alta en 1970 tenía 1 990 y para el 2000 presentó 3 603 viviendas, mientras que San Antonio Tecómitl pasó de 843 viviendas en 1970 a 4 306. De lo anterior se concluye que ha habido un incremento del número de viviendas con respecto a los años de 1970 y 2000, derivado del crecimiento de la población que ha presentado Milpa Alta durante los últimos treinta años.

Indicadores de población económicamente activa e ingreso

La población económicamente activa (PEA) en Milpa Alta de acuerdo con el INEGI (2000), es de 36 108 y la población económicamente inactiva estaba constituida

por 33 620 personas. En la Tabla 6 se presenta la distribución de la población por localidades, donde se observa que la mayor concentración de PEA la tienen San Antonio Tecómitl y Villa Milpa Alta, que va muy relacionada con la cantidad de población total que registraron ambas localidades. La menor PEA se localiza en el poblado de San Bartolo Xicomulco y San Lorenzo Tlacoyucan, estos datos están relacionados con la PEA del sector primario, secundario y terciario.

Con respecto a la ocupación de la población económicamente activa se distribuye en los sectores primario, secundario y terciario. La población ocupada en el sector primario es de 5 074 personas que se dedican a las actividades agrícolas y pecuarias que representan el 14.1 %, lo que indica que pocos habitantes se dedican a estas actividades, debido a la falta de incentivos al campo y porque ya no es redituable (INEGI, 2000). Otro factor importante a considerar en este sector, es que la población que se dedica al campo es gente mayor de edad; lo que se observó durante las entrevistas. La gente que se está dedicando en su mayoría al sector terciario, supera en cifras al sector primario y secundario, ya que presenta 22 619 personas dedicadas al comercio, con respecto a la PEA que representa el 61.5 %. Al sector secundario se dedican 7 203 personas que representa el 19.9 % del la PEA total, lo que implica que la gente está dejando de trabajar en el sector manufacturero.

Con respecto a los ingresos en la población se tiene que 5 475 personas (15 %) reciben un salario mínimo (SM), contrastando con 403 personas (1.1 %) que reciben diez SM y 12 834 (35.5 %) que reciben de uno a dos SM. La población que obtiene de dos a cinco SM es 9 746 y la población con seis a diez SM es de 1 772 personas. Es importante mencionar con respecto a este indicador que la información no refleja las condiciones económicas de la delegación, ya que se observó en el trabajo de campo que existe una derrama económica debido a la producción de nopal y venta de mole que permiten la entrada de mayores ingresos a la población de la delegación. Sin embargo, el INEGI reporta que la delegación Milpa Alta es la más pobre en el Distrito Federal. En la Tabla 7 se presenta la distribución de ingresos de las poblaciones en la delegación la cual está relacionada con la PEA y la cantidad de habitantes reportados por localidad.

Indicadores de presión

Indicador de cambio de cobertura y uso del suelo de 1970 a 2000

Se determinó el uso de suelo y cobertura vegetal para los años de 1970 y 2000. De acuerdo con el análisis realizado se tiene que para el 2000 la agricultura se in-

Tabla 6. Población económicamente activa de las localidades de Milpa Alta

Nombre la de localidad	PEA					
	Población económicamente activa	Población económicamente inactiva	Población ocupada	Población ocupada en el sector primario	Población ocupada en el sector secundario	Población ocupada en el sector terciario
Villa Milpa Alta	6 725	5 509	6 671	1 528	732	4 269
San Antonio Tecómitl	7 017	6 775	6 904	260	1 870	4 661
San Bartolomé Xicomulco	1 231	1 224	1 214	53	351	802
San Francisco Tecoxpa	3 299	2 757	3 271	819	403	2 021
San Pablo Oztotepec	4 304	4 258	4 238	322	1 206	2 573
San Pedro Actopan	3 197	3 012	3 169	235	544	2 352
San Salvador Cuauhtenco	3 609	3 595	3 502	232	929	2 258
Santa Ana Tlacotenco	3 342	3 332	3 287	591	512	2 102
San Lorenzo Tlacoyucan	1 369	1 136	1 358	668	91	575
Otras localidades	2 015	2 022	1 989	366	565	1 006
Total	3 618	33 620	35 603	5 074	7 203	22 619

Fuente: INEGI, 2000.

Tabla 7. Ingresos para el año 2000 en las principales localidades de Milpa Alta

Nombre la de localidad	Población con un salario mínimo	Población con uno a dos salarios mínimos	Población con dos a cinco salarios mínimos	Población con seis a diez salarios mínimos	Población con diez salarios mínimos
Villa Milpa Alta	1 298	2 116	1 550	363	89
San Antonio Tecómitl	773	2 496	2 392	467	93
San Bartolomé Xicomulco	140	538	374	71	24
San Francisco Tecoxpa	612	1 031	875	132	44
San Pablo Oztotepec	574	1 591	616	187	33
San Pedro Actopan	581	1 196	1 022	123	44
San Salvador Cuauhtenco	324	1 500	998	181	38
Santa Ana Tlacotenco	372	1 123	219	141	23
San Lorenzo Tlacoyucan	411	401	456	44	6
Otras localidades	390	842	9 746	66	9
Total	5 475	12 834	35 603	1 772	403

Fuente: INEGI, 2000.

crementó, extendiéndose sobre las áreas de pastizales, atribuyéndose a la apertura de nuevas tierras para cultivos agrícolas, principalmente de avena forrajera. Los usos del suelo son el forestal, agrícola, pecuario y urbano, siendo la principal actividad económica la agricultura, donde se siembra avena forrajera y nopal verdura principalmente, además de papa, haba, fríjol, chícharo, calabacita y maíz. Las actividades agrícolas se desarrollan bajo el régimen de temporal, aunque existen pequeñas áreas con agricultura de riego, las cuales están siendo desplazadas por el crecimiento y su cercanía a las zonas urbanas.

Las áreas urbanas aumentaron en superficie y densidad de construcción, sobre todo en los poblados de Villa Milpa Alta, San Antonio Tecómitl, San Pedro Atocpan, San Pablo Oztotepec y San Salvador Cuauhtenco, además existen viviendas aisladas en parcelas agrícolas de nopal verdura en Villa Milpa Alta. Las áreas con matorral se han mantenido conservadas, porque se localizan sobre flujos lávicos de roca volcánica, por lo que esta condición hace que no sean aptas para las actividades agropecuarias (Figura 3).

Considerando el nivel de conservación de la vegetación, en las unidades cartográficas de referencia, se encontró que la mayor cantidad de tocones y árboles muertos se presenta en el bosque de *Pinus* sp., debido a la tala clandestina y a las actividades como la extracción de ocote, madera y leña. La mayor regeneración natural de árboles se presenta en los bosques de *Abies religiosa* y *Alnus* sp., en zonas de difícil acceso y donde predominan las fuertes pendientes. Las áreas con menor regeneración natural corresponden al bosque de *Pinus* sp., que a su vez se encuentran cerca de los terrenos agrícolas y de pastizales que son afectadas constantemente por los incendios forestales y el ramoneo del ganado ovino.

Los sitios mejor conservados son poco accesibles y se encuentran alejados de las áreas pobladas, esto es, se localizan en los pedregales del volcán Chichinautzin y en las laderas superiores del volcán Tláloc. Un factor importante que influye en la conservación y/o degradación de la cobertura vegetal es el tipo de tenencia de la tierra, por ejemplo, las áreas mejor conservadas se encuentran en zonas donde el tipo de propiedad es comunal, mientras que las áreas más perturbadas se localizan en la propiedad privada y el ejido, que es donde se llevan a cabo la mayor cantidad de actividades agropecuarias.

Indicador de incendios forestales

A pesar de la incidencia de incendios, en el área se observó que la cobertura forestal no ha sufrido cambios significativos considerando los años de 1970 a 2000, la cual se ha mantenido en algunos sitios, debido a los programas de reforestación que se han llevado a cabo por parte del gobierno del Distrito Federal desde

Figura 3. Se observa el crecimiento urbano que en 30 años han tenido las áreas de los principales pueblos que integran la delegación Milpa Alta.

1979. Los incendios forestales, son uno de los factores que más han degradado la vegetación de Milpa Alta, durante el periodo de 1994 a 2003 se presentó un total de 2 249 incendios, afectando una superficie de 3 215 ha. La vegetación más perturbada corresponde a los pastizales con 2 193 ha, seguidos de las áreas con reforestación con 658 ha y los arbustos con 240 ha. También se reportó la quema de hojarasca en 39 ha, renuevos con 69 ha y árbol adulto con sólo 17 ha. Durante el periodo de 1997 a 1998 se presentó la mayor superficie quemada con 825 ha afectadas y los años donde se presentaron menos incendios fue el periodo de 1999 a 2000 con una superficie afectada de 19 ha (Figura 4).

Indicador de crecimiento de la población

La Delegación Milpa Alta se encuentra inmersa dentro de la problemática social y económica de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), para hablar de los aspectos socioeconómicos del área en estudio se tiene que ubicar dentro del contexto espacial y temporal de esa zona. A partir de la década de 1970 y hasta la fecha, la delegación ha presentado un proceso de cambio pasando de ser rural en su totalidad, a tener áreas de carácter rural-urbano en sus principales localidades. Además de presentar impactos generados por la migración a la ciudad, como se observa en los poblados de Villa Milpa Alta, San Antonio Tecómitl y San Pedro Actopan. Históricamente la propiedad de la tierra ha sido comunal, lo cual ha permitido la amplia participación de los comuneros en el desarrollo de los poblados, en consecuencia participan en la ocupación del suelo y en la definición del crecimiento de los poblados.

Entre 1970 y 2000, el ritmo de crecimiento de la población en la delegación se triplicó pasando de 33 694 habitantes a 96 773 en el 2000. En la Tabla 8 se presentan datos sobre el crecimiento de la población de los poblados que integran la delegación. Los pueblos con una mayor cantidad de habitantes son, en primer lugar San Antonio Tecómitl con el 20 % del total de la población de la delegación, seguido de Villa Milpa Alta con 17 %, San Pablo Oztotepec con el 12 % y San Salvador Cuauhtenco con el 11 %. Las localidades con menor población son San Bartolomé Xicomulco con el 3.5 % y San Lorenzo Tlacoyucan con el 3.5 % del total de la delegación.

Indicador de demanda del agua

Es importante destacar que la información para los indicadores de uso, demanda y fuentes de agua, se obtuvo mediante 29 entrevistas realizadas a los representantes de bienes comunales, productores y representantes territoriales de los pueblos de la delegación Milpa Alta. Asimismo, los entrevistados, señalaron que no ob-

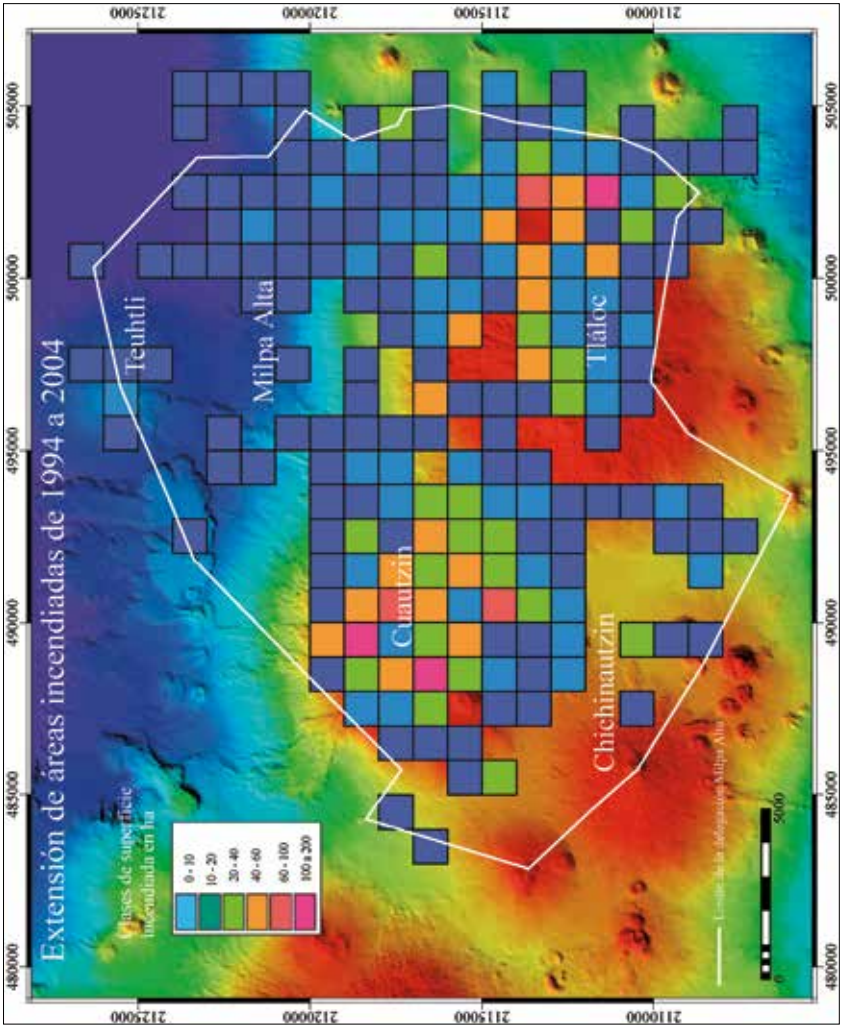


Figura 4. Extensión de áreas incendiadas de 1994 al año 2003.

Tabla 8. Población total de las localidades de Milpa Alta de 1970 y 2000

Localidad	Población en 1970	%	Población en 2000	%
Villa Milpa Alta	11 014.0	32.7	16 536.0	17.1
San Antonio Tecómitl	5 419.0	16.1	18 931.0	19.6
San Bartolomé Xicomulco	689.0	2.0	3 423.0	3.5
San Francisco Tecoxpa	1 040.0	3.1	8 549.0	8.8
San Pablo Oztotepec	4 054.0	12.0	11 932.0	12.3
San Pedro Actopan	3 596.0	10.7	8 575.0	8.9
San Salvador Cuauhtenco	2 351.0	7.0	10 323.0	10.7
Santa Ana Tlacotenco	4 069.0	12.1	9 130.0	9.4
San Lorenzo Tlacoyucan	1 462.0	4.3	3 373.0	3.5
Otras localidades			6 001.0	6.2
Total	33 694.0	100.0	96 773.0	100.0

Fuente: INEGI, 1970 y 2000.

tienen ningún beneficio del agua que se extrae dentro de la delegación a pesar de que es un territorio que ofrece una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de México.

Existen problemas serios con el abastecimiento del agua de uso doméstico y no existe infraestructura para incrementar su captación. La mayor parte de la población (60 %) la toman fuera de la vivienda, pero dentro de su terreno; el 5.7 % la tienen que acarrear y 5.9 % no disponen de agua. En cuanto a la disposición o frecuencia de recepción del líquido por día, Milpa Alta ocupa los niveles más bajos de todo el Distrito Federal. El 54 % de las viviendas la reciben diariamente, pero solamente el 31 % durante todo el día, mientras que el 62 % sólo en parte del día. El 23 % la recibe cada tercer día y un 21 % con un nivel de frecuencia muy bajo, que va entre dos veces por semana o esporádicamente.

Indicadores de sistemas agrícolas y pecuarios

Los principales sistemas de producción en Milpa Alta son la agricultura de temporal con cultivos semipermanentes como el nopal verdura, que es considerado el cultivo más importante en la delegación y en el país. La superficie sembrada y cosechada de nopal en Milpa Alta es superior comparativamente con la ocupada por otros cultivos, e incluso los valores del volumen de su producción están por

encima de cualquier otro cultivo (INEGI, 2001). La superficie de la delegación Milpa Alta está considerada en su totalidad como Suelo de Conservación, de ella 1 496 ha (5.3 %) son de uso urbano de los poblados. Milpa Alta ocupa el primer lugar en el país en producción de nopal verdura, con una cantidad anual de 211 916 toneladas, que se cultivan en 4 057 ha, es decir, el 41.3 % de la superficie total agrícola y el 96.4 % de las tierras dedicadas a cultivos perennes (INEGI, 2001).

En cuanto a la diversidad de cultivos, se tiene que el maíz para grano y la avena forrajera ocupan un lugar importante en cuanto a superficie sembrada y al volumen de producción. Ambos son cultivos que cumplen una función de complemento en la cadena productiva de cerdos y borregos, respectivamente, aunque una parte se destina al mercado local.

Con respecto a la actividad pecuaria, se ha mantenido una tendencia a la baja en los últimos años, debido al cambio de vocación de uso de suelo y a la falta de incentivos, manifestándose este hecho en el decremento del inventario ganadero. Además se ha caracterizado por ser fundamentalmente extensiva en bovinos y ovinos, siendo común con la presencia de animales de traspatio como aves de corral y cerdos, que se destinan para autoconsumo (INEGI, 2001). Los productores comúnmente no aplican fertilizantes ni herbicidas y en caso de hacerlo lo hacen con exceso, debido a que no cuentan con un paquete tecnológico adecuado a la región. El empleo de tractor es común en la delegación, ya que en la mayoría de los poblados es un servicio que otorga la delegación o en todo caso es rentado a particulares. Debido a que el régimen de propiedad de la tierra es comunal, los productores rurales no son sujetos a créditos u otros apoyos institucionales, porque no cuentan con garantías, a menos que estén organizados en alguna figura asociativa, lo que limita el desarrollo de proyectos productivos en el área.

Conclusiones

Los indicadores ambientales establecidos a nivel local permiten que las comunidades participen de manera integral durante los procesos de planeación e implementación de proyectos, incluyendo su selección y seguimiento.

Para este trabajo las unidades ambientales biofísicas y los indicadores ambientales determinados a nivel local han permitido contar con información sobre los aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos de una manera más detallada, que sirven de base como unidades de manejo para dar propuestas a escala local.

De acuerdo con el análisis del indicador de cambio de uso de suelo, se tiene que para el 2000 la agricultura se incrementó y se extendió sobre las áreas de pastizales con respecto al año de 1970. Las áreas urbanas incrementaron su superficie sobre todo en las áreas de los poblados; asimismo, existen asentamientos humanos aislados, que se ubican en parcelas agrícolas.

Los suelos presentan alta retención de humedad, son ricos en materia orgánica y tienen un pH tendiente a la neutralidad, por lo que permiten el desarrollo adecuado de la vegetación en las áreas forestales. Esto tiene relación directa con las condiciones de heterogeneidad climática al interior de la delegación, existen áreas con alta cantidad de lluvia y bajas temperaturas en las elevaciones mayores, en cambio en las áreas bajas la cantidad de lluvia se reduce notablemente y se incrementa la temperatura.

El indicador de incendios forestales está degradando los recursos naturales ya que constituye un agente de perturbación debido a que no permiten la regeneración natural del ecosistema forestal y cada año este fenómeno ocasiona cuantiosos daños y provoca importantes pérdidas económicas. En su mayoría, los incendios en los pastizales son provocados por los campesinos debido a la necesidad de obtención de alimento para el ganado.

Los indicadores sociales muestran la necesidad que en materia de servicios como los de salud y educación se tienen en la delegación, a pesar de ello, existe una gran cantidad de población que cuenta con estos servicios, aunque para ello se tengan que desplazar hacia las delegaciones del centro del Distrito Federal.

Los indicadores económicos revelaron cambios sobre todo en la PEA, ya que se presentó un incremento en la población activa que se dedica al sector terciario, que sobrepasó a la población dedicada al sector primario, es importante señalar que a pesar de la falta de incentivos al campo, en Milpa Alta la actividad agrícola se sigue desarrollando, sobre todo en el cultivo de nopal y avena forrajera, que permite tener ingresos en la población.

Los indicadores biofísicos y socioeconómicos considerados en este trabajo mostraron el grado de conservación y perturbación de los recursos naturales, asimismo las necesidades de servicios que requiere la población para satisfacer sus aspectos de vivienda, educación y salud. De igual forma, los indicadores económicos mostraron los cambios que se están dando en las actividades agrícolas, aunque la economía de la delegación se sustenta en el cultivo de nopal.

La información sobre los indicadores ambientales es importante dentro de las estrategias de planeación territorial en el corto, mediano y largo plazo hacia una organización del uso del suelo en la elaboración de los proyectos de ordenamiento territorial para el área en estudio. Los indicadores ambientales constituyen un

instrumento versátil, capaz de optimizar el uso de la información ambiental, dar curso al procedimiento sistemático de toma de decisiones y avanzar en una sólida integración de la política ambiental.

Agradecimientos

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación Tecnológica (PAPIIT), Proyecto IN102503 *Determinación y aplicación de indicadores ambientales a escala detallada para la evaluación biofísica y la planeación del territorio, el caso de Milpa Alta Distrito Federal*. A Héctor Monsalvo Castillo, Felipe Flores Jiménez, Cinthia M. Leyva Ruíz, por el apoyo durante el trabajo de campo y especialmente al Dr. Gilberto Vela Correa por los comentarios realizados al trabajo, y por su apoyo en laboratorio y campo.

Referencias

Agencia Ambiental Europea (2000), Estado del Ambiente en la Unión Europea, http//.europe.eu/agencies/community-agencies/eea/index-es.htm. Consultado 8 de julio de 2007.

Bell, S. and S. Morse (2001), "Breaking through the glass ceiling: who really cares about sustainability indicators?", *Local Environmental*, no. 6, pp. 291-309.

Carruthers, G. and G. Tinning (2003), "Where, and how, do monitoring and sustainability indicators fit into environmental management system?", *Australian Journal of Experimental Agriculture*, no. 43, pp. 307-323.

CEE (2003), *Indicadores ambientales del Estado de Hidalgo 2003*, Consejo Estatal de Ecología (CEE), Estado de Hidalgo, México.

CIAT-Banco Mundial-PNUMA (2000), *Desarrollo de indicadores. Lecciones aprendidas de América Central*, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Banco Mundial.

Corbiere-Nicollier, T., Y. Ferrari, C. Jemelin and O. Jolliet (2003), "Assessing sustainability: an assessment framework to evaluate Agenda 21 actions at the local level", *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, no. 10, pp. 225-237.

CSIRO (1998), *A Guidebook to Environmental Indicators*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia.

Farrow, A. and M. Winograd (2001), "Land use modeling at the regional scale: an input to rural sustainability indicators for Central America. Agriculture", *Ecosystems and Environment*, no. 85, pp. 249-268.

Freebairn, D. M. and C. A. King (2003), "Reflections on collectively working toward sustainability: indicators for indicators!", *Australian Journal of Experimental Agriculture*, no. 43, pp. 223-238.

Gaunt, J. L., J. Riley, A. Stein and F. W. T. Penning de Vries (1997), "Requirements for effective modeling strategies", *Agriculture Systems*, vol. 54, no. 2, pp. 153-168.

INE (1997), *Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México*, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México, pp. 11-21.

INEGI (1970), *IX Censo General de Población 1970. Integración Territorial Distrito Federal*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2000), *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2000), *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Distrito Federal, Tabulados Básicos, México.

INEGI (2001), *Cuaderno estadístico delegacional Milpa Alta, Distrito Federal*, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México, p. 156.

INE y EPA (2005), *Situación ambiental en la región fronteriza. Programa ambiental fronterizo México – Estados Unidos: Reporte de indicadores*, Instituto de Nacional de Ecología, México y la Environmental Protection Agency (EPA), Estados Unidos.

UACH (2002), *Indicadores en Chihuahua: Determinación de criterios e indicadores ambientales y de sostenibilidad en la región Bosque Modelo Chihuahua*., Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

IMF, OECD, UNO y WBG (2000), "A better world for all. Progress toward the international development goals", *International Monetary Fund* (IMF), Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), United Nation Organization (UNO) and World Bank Group (WBG), pp. 1-24.

Moldan, B. and S. Billharz (1997), *Sustainability Indicators. Report of the proyect on indicators of Sustainable development*, Wiley and Sons LTD, England.

NCM y NC (2003), *A Nordic Set of Indicators. Achieving the objectives*, Nordic Council of Ministers (NCM) y Nordic Council (NC), Copenhagen.

OCDE (1997), *Desarrollo Sustentable. Estrategias de la OCDE para el siglo XXI*, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.

ONU (2001), Informe sobre su 32º periodo de sesiones, Comisión de Estadísticas, Consejo Económico y Social, Documentos oficiales, Organización para las Naciones Unidas (ONU), suplemento núm. 4.

PNUMA (2001), *Informe de los indicadores ambientales y de la sustentabilidad en América Latina y el Caribe*, División de Estadística, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Reed, M. S., E. D. G. Fraser, J. Andrew and A. J. Dougill (2006), "An adaptative learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities", *Ecological Economics*, no. 59, pp. 406-418.

Rennings, K. and H. Wiggering (1997), "Steps towards indicators of sustainable development: linking economic and ecological concepts", *Ecological Economics and Ecological*, no. 20, pp. 25-36.

Segnestam, L. (2002), "Indicators of environment and sustainable development. Theories and practical experience", *Environmental Economics Series*, no. 80.

SEMARNAT (1997), *Desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental de México*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

SEMARNAT (2000), *Reporte de la evaluación del desempeño ambiental*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

SEMARNAT (2005), *Indicadores básicos del desempeño ambiental de México*, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Stein, A. J. and N. H. Riley (2001), "Issues of scale for environmental indicators", *Agriculture, Ecosystems and Environmental*, no. 87, pp. 215-232.

Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México se terminó de imprimir en junio de 2009, en los talleres de Navegantes de la comunicación gráfica, S.A. de C.V. Pascual Ortíz Rubio, no. 40, San Simón Ticumac, Del. Benito Juárez, 03660, México, D.F.

El tiraje consta de 500 ejemplares impresos sobre papel cultural de 90 gramos. Para la formación de galeras se usó la fuente tipográfica Adobe Garamond Pro, en 9.5/10, 10/12, 11.2/12.7 y 16/19 puntos.

Edición realizada a cargo de la Sección Editorial del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Revisión y corrección de estilo: Martha Pavón. Diseño, formación de galeras y cuidado de la impresión: Raquel Martínez Campos. Fotografía de portada: Jorge López Blanco.

Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México

Jorge López Blanco y María de Lourdes Rodríguez Gamiño
Coordinadores

Los indicadores ambientales y de sustentabilidad permiten cubrir el objetivo de simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, como los biofísicos, y constituyen una fuente de información y análisis para la toma de decisiones.

En este libro se abordan diversas temáticas como la explicación de los marcos de referencia, conceptuales y metodológicos en los que se han desarrollado los indicadores ambientales en México y las metodologías aplicadas para determinar los indicadores de desempeño en planeación territorial. Se incluyen los enfoques relacionados con economía ecológica orientados a extender las políticas ambientales en México.

Tomando como referencia a los factores del medio biofísico, se analiza la importancia de evaluar la calidad del suelo y la posibilidad de aplicar los indicadores de sustentabilidad a nivel regional. Asimismo, se explica el enfoque para la evaluación de los sistemas de manejo utilizando esos indicadores y la determinación y aplicación de indicadores ambientales a escala local en el sur de la Cuenca de México.

El propósito de este libro es el de dar a conocer los marcos conceptuales y teóricos para el desarrollo y aplicación de los indicadores ambientales y de sustentabilidad a diversas escalas temporales y espaciales, a partir de incluir los resultados de investigaciones que se están realizando en algunos centros de educación superior e instituciones gubernamentales en México.